

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра деревообрабатывающих станков и инструментов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

**Учебно-методическое пособие по выполнению курсовых
и дипломных проектов для студентов специальности 1-36 05 01
«Машины и оборудование лесного комплекса»
специализации 1-36 05 01 03 «Машины и оборудование
деревообрабатывающей промышленности»**

Минск 2015

УДК 674.05:621.9.01(075.8)

ББК 65.9(2)304.18:37.13

П79

Рассмотрено и рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом Белорусского государственного технологического университета.

Составитель

В. В. Раповец

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией гетерогенных систем ФТИ НАН Беларуси *А. В. Алифанов*;

кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и технологии металлов *П. В. Рудак*

Проектирование и производство деревообрабатывающего инструмента : учеб.-метод. пособие по выполнению курсовых и дипломных проектов для студентов специальности 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» специализации 1-36 05 01 03 «Машины и оборудование деревообрабатывающей промышленности» / сост. В. В. Раповец. – Минск: БГТУ, 2015. – 74 с.

Учебно-методическое пособие по расчету основных параметров деревообрабатывающего инструмента с примерами позволяет студентам освоить общие подходы к расчету усилий, действующих в механизмах резания деревообрабатывающего оборудования.

Пособие предназначено для студентов III–V курсов специальности 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» специализации 1-36 05 01 03 «Машины и оборудование деревообрабатывающей промышленности».

УДК 674.05:621.9.01(075.8)

ББК 65.9(2)304.18:37.13

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2015

ПРЕДИСЛОВИЕ

Представленное учебно-методическое пособие ставит своей целью закрепить и углубить навыки расчета режущего инструмента деревообрабатывающих станков, полученные студентами на лекционных и практических занятиях, а также при самостоятельном изучении литературы.

В учебно-методическом пособии рассматриваются рамные, ленточные, круглые пилы и фрезерный инструмент, применяемый в производстве столярных изделий из древесины, элементов мебели, при обработке плитных материалов и др. Отдельное внимание уделено особенностям проектирования режущего инструмента, определению его основных геометрических параметров. Приведены методические указания и общие подходы к расчету усилий, действующих в механизмах резания деревообрабатывающего оборудования. Для наглядности в пособие включены примеры расчета усилий, которые необходимо учитывать при конструировании режущего инструмента деревообрабатывающих станков.

Пособие также предлагает ознакомиться с методикой построения затылков задней грани зуба фрезерного инструмента и содержит краткую информацию о рекомендуемых параметрах инструмента при обработке древесины и древесных материалов.

Учебно-методическое пособие востребовано при выполнении курсовых и дипломных проектов студентов.

Автор выражает глубокую признательность аспиранту Алифировцу Г. В. и студенту Янушевичу С. В. за помощь в оформлении графического материала.

1. РАМНЫЕ ПИЛЫ

1.1. Назначение, конструктивные особенности рамных пил

Рамная пила представляет собой стальную полосу с приклепаннными планками или без них и сформированными зубьями по одной из кромок полосы. Конструкции рамных пил для вертикальных лесопильных рам как наиболее часто используемых в производстве, размеры и технические требования регламентированы ГОСТ 5524–75 [1].

Полотно рамной пилы характеризуется размерами его по толщине S , длине L и ширине B . Толщина полотна измеряется по тем же калибрам, которые применяются для измерения проволоки и стальных листов. Таких калибров имеется несколько. Калибровка толщины пил производится по проволочным калибрам BWG либо IWG. Размерные данные указанных калибров приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Толщина пилы (мм) по калибрам BWG и IWG

Номер калибра	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
BWG	4,57	4,19	3,76	3,40	3,05	2,77	2,41	2,11	1,83	1,65	1,47	1,24	1,07	0,89	0,81	0,71
IWG	4,47	4,06	3,66	3,25	2,95	2,64	2,34	2,03	1,83	1,63	1,42	1,22	1,02	0,91	0,81	0,71

Чаще всего применяются рамные пилы следующих номеров: 13, 14, 15, 16 и реже 12 и 17.

Длина рамных пил измеряется в миллиметрах, а в некоторых случаях (импортные пилы) в футах.

Наиболее распространенные размеры: 1100, 1250, 1400, 1500 и реже 1650 мм. Ширина рамных пил: наиболее распространенные размеры в пределах 140–180 мм.

Увеличение толщины рамной пилы положительно отражается на ее жесткости (сопротивляемости боковому отклонению), что важно для правильной работы пилы.

Толстые пилы, как показала практика, меньше затупляются и меньше теряют развод, чем тонкие пилы, к тому же и подачи для толстых пил возможны несколько больше (до определенных пределов толщин пил). Но увеличение толщины пилы вызывает излишний расход древесины в опилки и увеличение мощности, потребной на резание.

Наиболее ходовые толщины рамных пил в нормальных средних условиях распиловки хвойной древесины № 14–16.

Практика лесопиления выявила необходимость подбора пил в поставе так, чтобы их толщина, а следовательно и размеры зубьев, соответствовали высоте распила. Так, центральными пилами поставка на развал бревен свыше 20 см в диаметре устанавливаются пилы № 13–14, следующими же пилами № 15–16, причем крайние пилы должны быть несколько шире соседних для жесткости всего постава.

Толщина пил зависит не только от условий распиловки, но и от конструктивных данных, а именно от длины пилы (как полной, так и свободной). В случае большой свободной длины пилы (между прокладками) следует применять более толстые пилы.

Длина пилы может быть определена по следующей формуле:

$$L = D_{\max} + H + 300, \quad (1.1)$$

где D_{\max} – максимальный диаметр (высота) распила, мм; H – ход пильной рамки, мм.

При выборе ширины рамной пилы следует учитывать следующие положения: с одной стороны, ширина пилы увеличивает ее жесткость, а с другой стороны, заставляет увеличивать развод в целях устранения трения, возможного вследствие неточности установки, сказывающейся значительно при широких пилах. По практическим данным, ширина пилы должна составлять примерно 0,1–0,15 ее полной длины:

$$B = (0,10–0,15) \cdot L. \quad (1.2)$$

Зуб пилы характеризуется размерами: шагом t , высотой h , радиусом закругления r , формой впадины и следующими угловыми значениями: углом наклона γ , углом заострения β , задним углом резания α и углом резания δ (рис. 1.1).

В эксплуатационном отношении к зубу пилы предъявляют следующие основные требования:

- а) соответствие угловых значений данным условиям распиловки;
- б) возможно меньшая затупляемость зуба;

в) прочность и устойчивость в боковом направлении;
 г) достаточный объем впадины и соответствующая форма ее для вмещения опилок.

Рамные пилы имеют три исполнения профиля зуба:

- с прямой задней гранью (тип 1, рис. 1.1);
- с ломаной задней гранью (тип 2)
- с выпуклой задней гранью (тип 3).

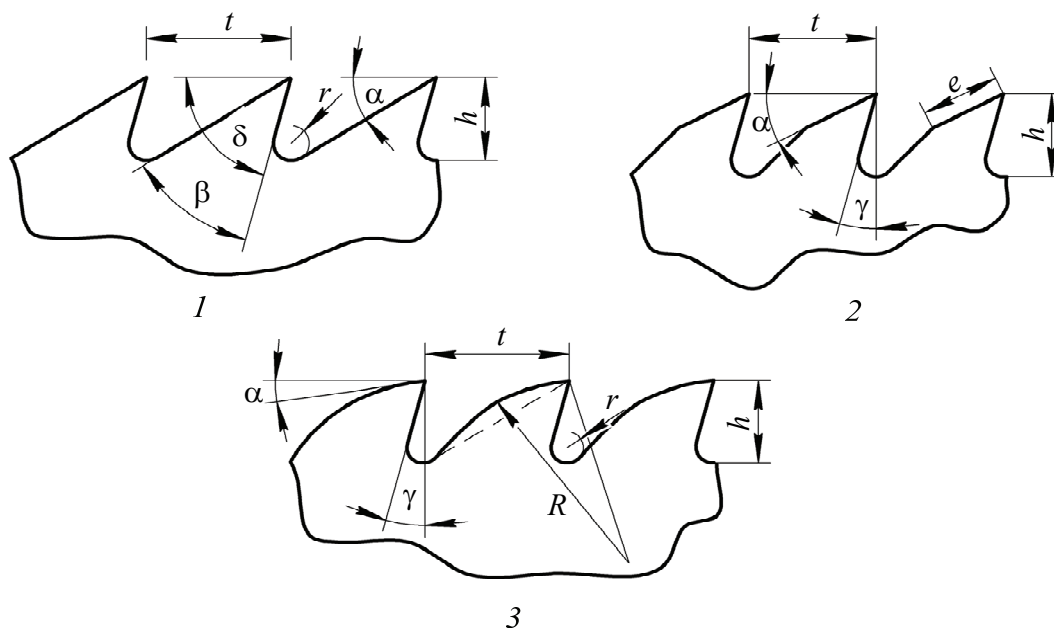


Рис. 1.1. Профили зубьев рамных пил:

1 – зуб с прямой задней гранью; 2 – зуб с ломаной задней гранью;
 3 – зуб с выпуклой задней гранью

Передний угол γ зуба рамной пилы зависит от технологических свойств древесины. Тверже порода – меньше передний угол. Практика и специальные исследования установили оптимальные значения переднего угла рамной пилы в пределах от 6° до 18° , в зависимости от условий распиловки.

Значение заднего угла зуба α практически, в определенных пределах, не оказывает существенного влияния на условия резания. Величина заднего угла предопределяет собой форму задней грани. В том случае, когда задний угол α получается меньше 35° , форма профиля зуба должна быть выпуклой или ломаной.

Руководствуясь данными практики и специальных исследований, можно рекомендовать значения углов заострения в пределах $35\text{--}55^\circ$ в зависимости от технологических и физических свойств распиливаемой древесины.

Техническими условиями на рамные пилы для распиловки хвойных пород рекомендуются следующие угловые значения зубьев, представленные в табл. 1.2 [2].

Таблица 1.2

Угловые значения зубьев рамных пил в зависимости от технологических свойств распиливаемой древесины

Распиливаемая древесина	Угловые значения зуба, град.				Профиль зуба, типы
	$\angle \gamma$	$\angle \beta$	$\angle \alpha$	$\angle \delta$	
Широкослойная хвойная древесина	12–18	35–40	40–32	78–72	1–2
Мелкослойная хвойная древесина	10–12	40–45	38–35	80–78	1–2
Промерзшая хвойная древесина	8–10	40–50	35–32	8–80	2–3
Береза	8–10	40–45	40–37	82–80	1
Дуб, бук	5–5	50–55	30–34	85–84	1 и 2

Устойчивость зуба в боковом направлении – требование, предъявляемое к зубу пилы, определяется соотношением размеров шага зуба, его высоты и толщины пилы. Имеется следующая практическая зависимость размеров разведенного зуба:

$$t \leq (10-12) \cdot s;$$

$$h \leq (0,75-1,0) \cdot t;$$

$$r \approx (0,15-0,2) \cdot t.$$

В случае применения плющеного зуба, учитывая, что силы сопротивления резанию действуют на него симметрично, возможно некоторое увеличение шага зуба, в пределах следующих соотношений:

$$t \leq (12-14) \cdot s;$$

$$h = (0,7-0,8) \cdot t.$$

Представленные выше практические зависимости позволяют рассчитать основные геометрические параметры рамных пил.

1.2. Методика расчета крепления рамных пил

Для нормальной работы пилы должны быть правильно установлены и надежно закреплены. Схема установки пил показана на рис. 1.2.

Пилы *1* ставятся в захваты *2*, затем через прокладки *3* стягиваются в постав струбцинами *4* и натягиваются натяжными устройствами *5*, расположенными на верхней поперечине *6*. Пильная рамка состоит из верхней и нижней *7* поперечин, соединенных стойками *8*, и перемещается шатуном *9* в нижних неподвижных направляющих *10* и верхних наклоняемых *11*.

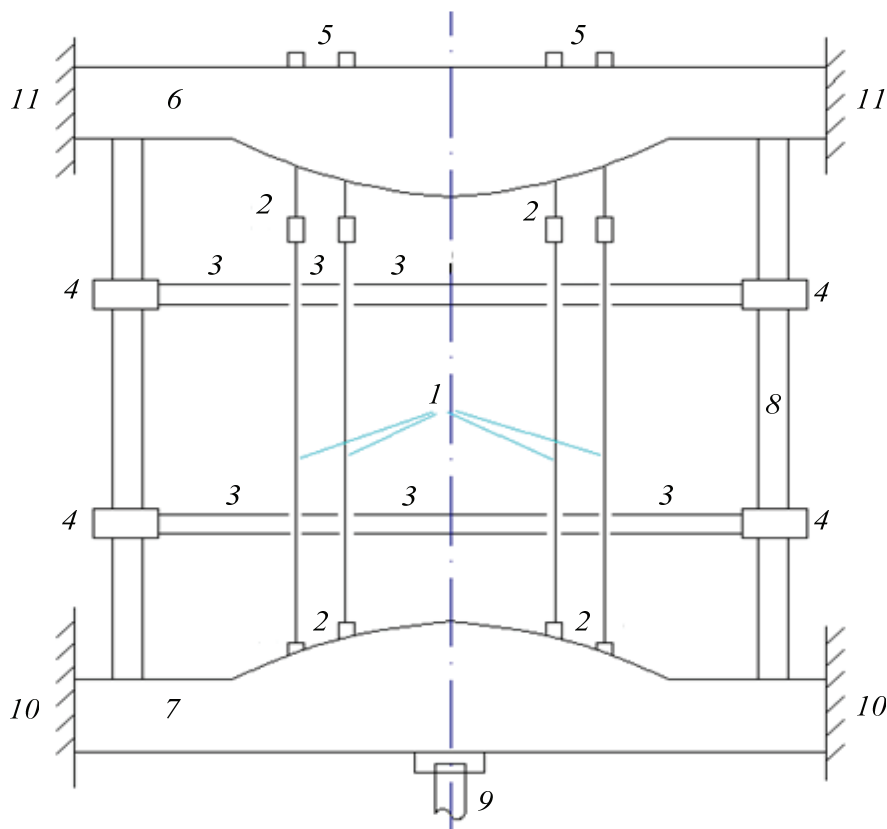


Рис. 1.2. Схема установки рамных пил

В продольном направлении пилы должны быть параллельны друг другу и направляющим пильной рамки. В поперечном направлении пилы должны быть параллельны между собой и рельсам впереди рамной тележки и, кроме того, иметь свес по направлению подачи. Для рам с непрерывной подачей величина свеса равна половине посылки.

Наиболее ответственная часть крепления пилы – устройство натяжения полотна. Сила натяжения зависит от сечения пилы, ее свободной длины, величины посылки, размеров и свойств бревна и других факторов и колеблется в широких пределах. Натяжные устройства бывают: клиновые, эксцентриковые, винтовые, гидравлические.

Клиновое устройство (рис. 1.3) состоит из односкосного клина 1, корпуса карабина 2, опорной планки 3, опирающейся на верхнюю поперечину 4. Коэффициенты трения скольжения опорных поверхностей клина с углом скоса α обозначим, соответственно, f_1 и f_2 , углы трения φ_1 и φ_2 , $F_{\text{нат}}$ – сила натяжения; F – сила, приложенная к клину.

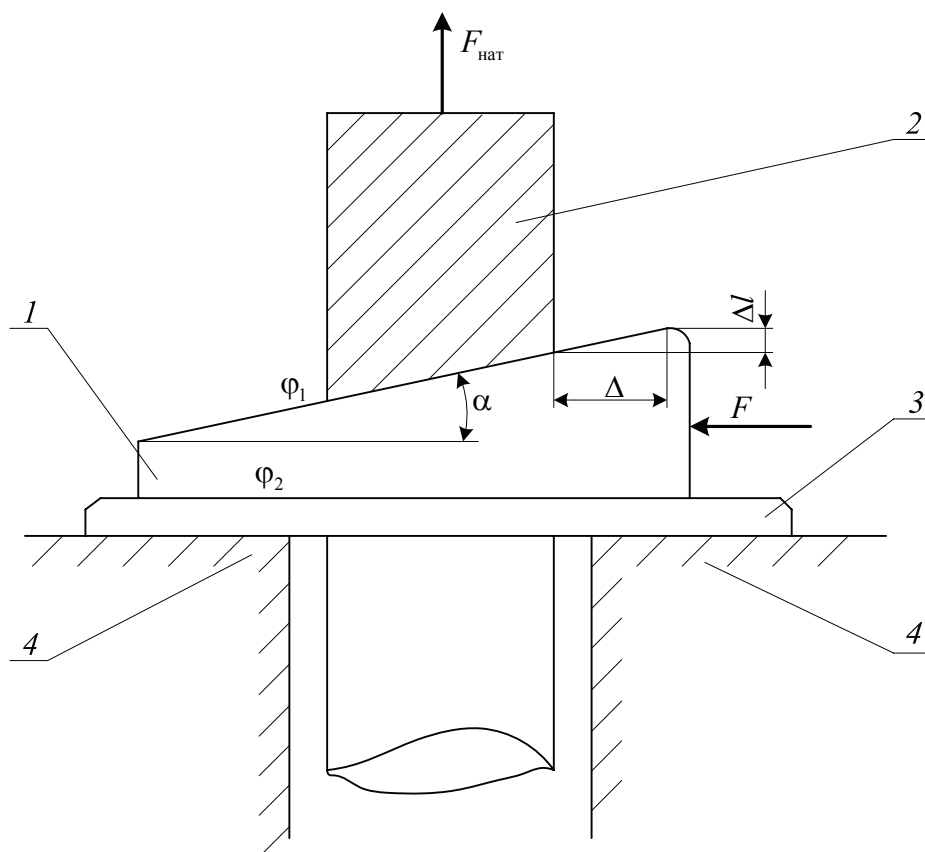


Рис. 1.3. Клиновое крепление

Сила натяжения $F_{\text{нат}}$, Н, зависит от силы F , приложенной к клину, которая, в свою очередь, зависит от силы удара. Требуемая сила натяжения может быть определена по формуле:

$$F_{\text{нат}} = \sigma \cdot B \cdot s, \quad (1.3)$$

где σ – среднее напряжение растяжения, необходимое для нормальной работы пилы, 80–140 МПа (для тонких пил принимается 140 МПа, а для толстых – 80 МПа); B – ширина полотна с зубьями (в среднем равна 100 мм); s – толщина пилы ($s = 2,0; 2,2; 2,5$), мм.

Практически сила натяжения составляет около 30 000 Н на одну пилу. Толщина клина принимается 6–10 мм. Материал клина используется в основном сталь Ст. 45.

Упругие свойства пильного полотна обуславливаются следующей зависимостью требуемого растяжения пилы в зависимости от требуемого напряжения:

$$\Delta l = \frac{\sigma}{E} \cdot l, \quad (1.4)$$

где l – длина пильного полотна, мм; E – модуль упругости, МПа (для сталей $E \approx 2 \cdot 10^5$ МПа).

Из условия самоторможения клина при клиновом натяжении пил в поставе его угол должен быть меньше угла трения в сопрягаемой паре. Данное условие можно записать следующей зависимостью:

$$\alpha = \arctg(f_2) - \Delta\alpha, \quad (1.5)$$

где $\Delta\alpha$ – запас угла клина, обусловленный условием самоторможения, град (принимается $1,5^\circ$)

Требуемое горизонтальное перемещение клина на основании рис. 1.3, мм:

$$\Delta = \frac{\Delta l}{\tg\alpha}. \quad (1.6)$$

Сила натяжения в зависимости от прилагаемого усилия F , Н, может быть выражена приближенной зависимостью:

$$F_{\text{нат}} = F \cdot \frac{\cos\varphi_1 \cdot \cos(\alpha + \varphi_2)}{\sin(\alpha + \varphi_1 + \varphi_2)} \approx \frac{F}{(\sin\alpha + \cos\alpha f_1) \cdot \cos\alpha + f_2}. \quad (1.7)$$

Клиновое натяжение удобно при выпиливании тонких досочек толщиной 6–12 мм, например на тарных лесопильных рамах. Средняя ширина клина колеблется от 30–60 мм и определяется по напряжениям изгиба. Клиновое устройство испытывает большие ударные нагрузки, поэтому быстро изнашивается и является недолговечным.

Винтовое устройство (рис. 1.4) имеет винт с квадратной головкой 1, высокую гайку 2 в карабине 3, подкладку 4.

Усилие натяжения, развиваемое винтом, определяется по зависимости:

$$F_{\text{нат}} = F \cdot \frac{l}{0,5 \cdot (D + d) \cdot \tg(\alpha + \varphi_{\text{пр}}) + 0,3 \cdot \mu \cdot d}, \quad (1.8)$$

где F – усилие на рукоятке ключа, в среднем принимается 150–250 Н; l – длина ключа до 500 мм; D , d – наружный и внутренний диаметр винта, мм; α – угол подъема резьбы ($\alpha = 2-4^\circ$); $\varphi_{\text{пр}}$ – приведенный угол

трения $\varphi_{\text{пр}} = \arctg(f / \cos\beta)$; f – коэффициент трения в резьбе ($f = 0,1\text{--}0,15$); β – угол опорной поверхности в резьбе треугольного профиля ($\beta = 30^\circ$); μ – коэффициент трения скольжения между торцом винта и подкладкой ($\mu = 0,15$).

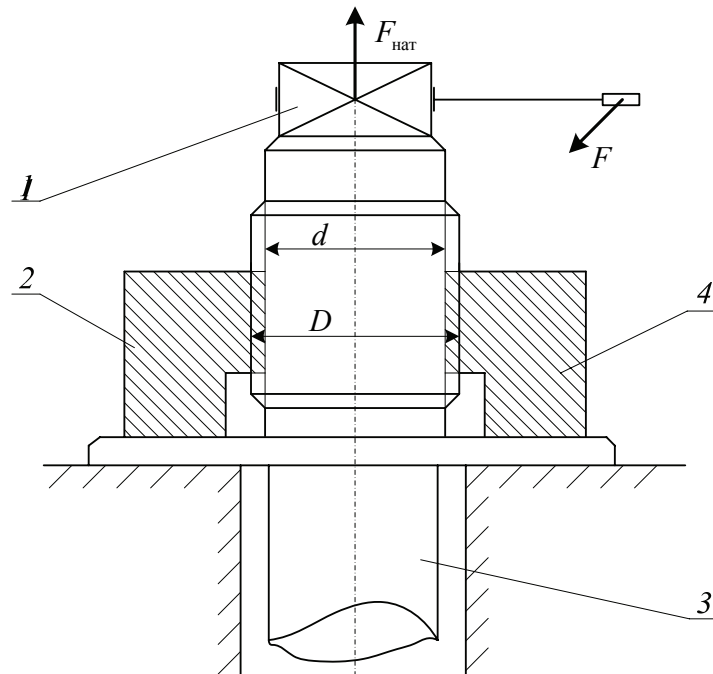


Рис. 1.4. Винтовое крепление

Высота H , мм, гайки винтового крепления может быть определена по зависимости:

$$H = \frac{4 \cdot F_{\text{нат}} \cdot t}{q \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2)}, \quad (1.9)$$

где t – шаг резьбы, мм; q – удельное давление в резьбе из условия не выдавливания смазки, МПа ($q = 7\text{--}13$ МПа).

Наружный диаметр винта $D = 14\text{--}22$ мм.

Внутренний диаметр винта определяется, исходя из приближенной зависимости:

$$d \approx \frac{D}{1,3}. \quad (1.10)$$

Эксцентриковое устройство (рис. 1.5) рекомендуется изготавливать из стали 20Х с цементацией на глубину 0,8–1,2 мм и последующей закалкой до твердости $HRC\ 55\text{--}60$. Исходными данными для

расчета основных размеров круглого эксцентрика по методике источника [3] являются: δ – допуск на размер пилы по длине от ее установочной базы до места приложения силы закрепления, мм; α – угол поворота эксцентрика от начального положения; Q – сила натяжения рамной пилы, Н.

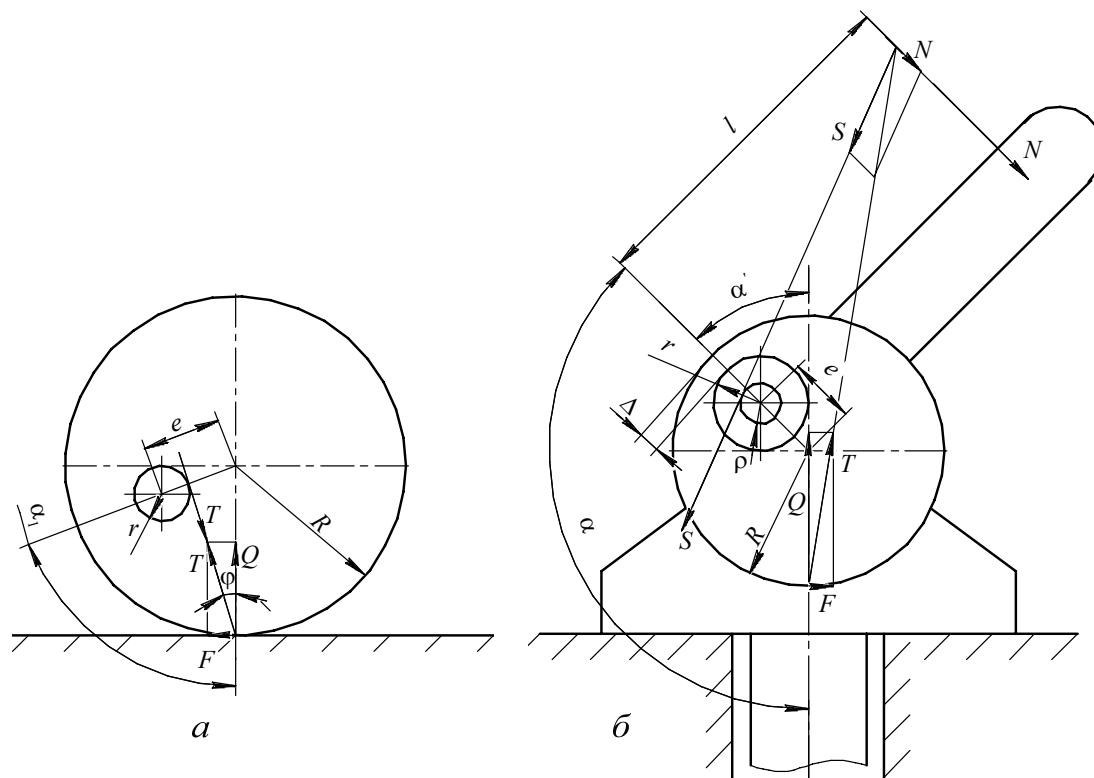


Рис. 1.5. Схемы для расчета эксцентрикового крепление рамных пил:
а – при условии самоторможения; б – при определении усилия на рукоятке

Если угол поворота эксцентрика не ограничен, то

$$2 \cdot e = s_1 + \delta + s_2 + \frac{Q}{J}, \quad (1.11)$$

где s_1 – зазор для свободного ввода пилы под эксцентрик; s_2 – запас хода эксцентрика, предохраняющий его от перехода через мертвую точку (учитывает износ эксцентрика); J – жесткость натяжного устройства, Н/мм.

Последний член формулы характеризует увеличение расстояния между эксцентриком и пилой в результате упругой деформации зажимной системы. При $s_1 = 0,2-0,4$ мм и $s_2 = 0,4-0,6$ мм

$$e = \frac{\delta}{2} + \frac{Q}{2J} + (0,3-0,5) \text{ мм}. \quad (1.12)$$

Если угол поворота α значительно меньше 180° ,

$$e = \frac{s_1 + \delta + \frac{Q}{J}}{1 - \cos \alpha}. \quad (1.13)$$

Радиус цапфы эксцентрика (мм) определяется по формуле с учетом ширины b_1 :

$$r = \frac{Q}{2 \cdot b \cdot \sigma_{\text{см}}}, \quad (1.14)$$

где $\sigma_{\text{см}}$ – допускаемое напряжение материала эксцентрика на смятие.

При $b = 2r$, получаем

$$r = \sqrt{\frac{Q}{4 \cdot \sigma_{\text{см}}}}. \quad (1.15)$$

Радиус эксцентрика R определяется из условий самоторможения. Из схемы действующих на эксцентрик сил (рис. 1.5, а) следует, что равнодействующая реакции Q и силы трения F должна быть равна реакции со стороны цапфы, проходящей касательно кругу трения радиуса ρ , и направленно противоположно ей:

$$\frac{e - \rho}{R} = \sin \varphi, \quad (1.16)$$

где φ – угол трения покоя.

Отсюда

$$R = \frac{e - \rho}{\sin \varphi}. \quad (1.17)$$

При $e \leq \rho$ $R_{\text{min}} = e + r + \Delta$ – толщина перемычки (рис. 1.5, б).

Радиус ρ круга трения покоя определяем из равенства:

$$\rho = f' \cdot r, \quad (1.18)$$

где f' – коэффициент трения покоя цапфы.

Величины φ и f' следует брать по наименьшему пределу. Для полусухих поверхностей можно принимать $\varphi = 8^\circ$ и $f' = 0,12 - 0,15$.

Угол поворота α_1 (рис. 1.5, а) для наименее выгодного положения эксцентрика определяется по формуле

$$\alpha_1 = 90^\circ - \varphi. \quad (1.19)$$

Ширину рабочей части эксцентрика B определим из формулы, представленной в литературе [3, с. 90]:

$$\sigma = 0,565 \cdot \sqrt{\frac{Q}{R \cdot B \cdot \left(\frac{1-\mu_1^2}{E_1} + \frac{1-\mu_2^2}{E_2} \right)}}, \quad (1.20)$$

где σ – допускаемое напряжение в месте контакта эксцентрика с заготовкой. Для закаленной стали можно принимать $\sigma = 800\text{--}1200$ МПа; E_1, E_2 – модули упругости соответственно материала эксцентрика и соприкасающегося с ним элемента (промежуточной детали или заготовки), МПа; μ_1, μ_2 – коэффициент Пуассона, для материалов эксцентрика и соприкасающегося с ним элемента.

При $E_1 = E_2 = E$ и $\mu_1 = \mu_2 = 0,25$ получим

$$\sigma = 0,41 \cdot \sqrt{\frac{Q \cdot E}{R \cdot B}}, \quad (1.21)$$

Откуда при подстановке R , мм, из (1.21) получим

$$B = 0,17 \cdot \frac{Q \cdot E}{R \cdot \sigma^2}, \text{ мм.} \quad (1.22)$$

Размеры эксцентрика e, r, R и B согласовываются с ГОСТ 9061.

Для установления зависимости между силой натяжения Q и моментом на рукоятке эксцентрика в конце натяжения рамной пилы воспользуемся схемой, показанной на рис. 1.5, б. В процессе натяжения на эксцентрик действуют три силы: сила на рукоятке N , реакция заготовки T и реакция цапфы S . Под действием этих сил система находится в равновесии. Реакция T представляет собой равнодействующую силы Q и силы трения F . Сумма моментов всех действующих сил относительно оси поворота эксцентрика

$$N \cdot l - Q \cdot e \cdot \sin \alpha - f \cdot Q \cdot (R - e \cdot \cos \alpha) - S \cdot \rho = 0, \quad (1.23)$$

где f – коэффициент трения между эксцентриком и опорной поверхностью.

Сила S мало отличается по величине от нормальной силы Q . Приняв $S \approx Q$, получим момент на рукоятке эксцентрика

$$N \cdot l = Q \cdot [f \cdot R + \rho + e \cdot (\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha)]. \quad (1.24)$$

Для упрощения полученного выражения примем:

1) $fR = \operatorname{tg} \varphi R \approx \sin \varphi R$ (при $\varphi = 6^\circ$ погрешность меньше 1%);

2) Выражение $\sin \alpha + f \cdot \cos \alpha$ заменим $\sin(\alpha + \varphi)$ (погрешность 1%). После подстановки получим

$$N \cdot l = Q \cdot [R \cdot \sin \varphi + \rho + e \cdot \sin(\alpha + \varphi)]. \quad (1.25)$$

Учитывая выражение (1.15) для R , получим

$$N \cdot l = [1 + \sin(\alpha + \varphi)] \cdot e \cdot Q. \quad (1.26)$$

По этой формуле $N \cdot l$ находят с точностью до 10%.

Гидравлическое устройство (рис. 1.6) свободно от последнего недостатка, так как автоматически поддерживается величина силы натяжения, одинаковая для всех пил. Пилы натягиваются и освобождаются во всем поставе одновременно.

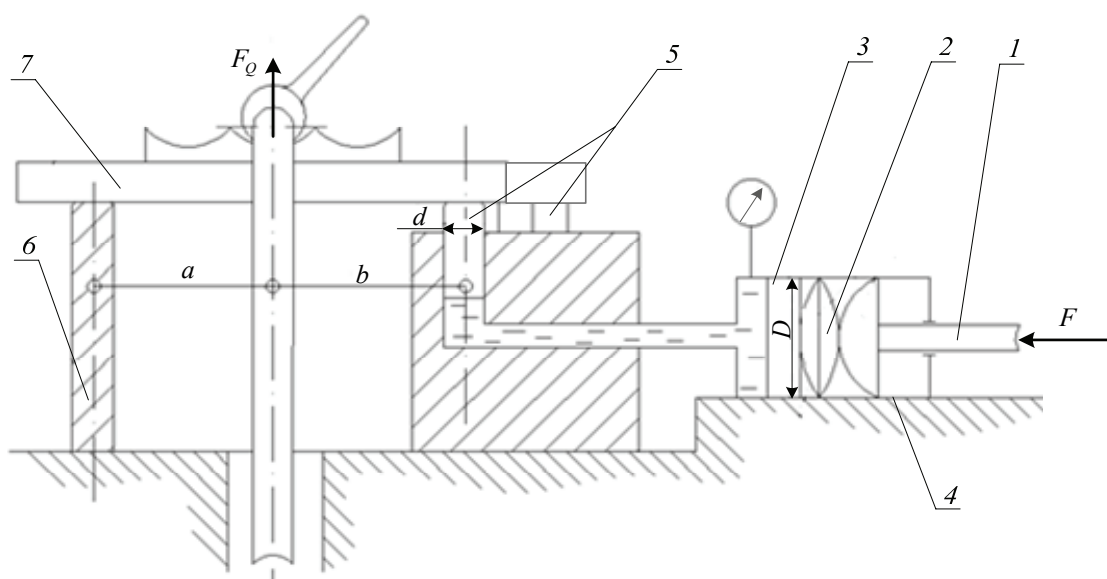


Рис. 1.6. Гидравлическое крепление рамных пил

Давление в гидравлической системе контролируется манометром и создается винтом 1 через тарельчатые пружины 2 на поршень 3 гидроцилиндра 4 . Планка с поршеньками 5 и дополнительной опорой 6 служит опорой для коромысла 7 эксцентрикового устройства, устанавливаемого на верхней поперечине пильной рамки.

Усилие натяжения можно определить по зависимости:

$$F_Q = F \cdot \frac{d^2 \cdot \eta \cdot (a + b) \cdot n}{D^2 \cdot a}, \quad (1.27)$$

где F – усилие, развиваемое винтом (рассчитывается, как винт домкрата); d – диаметр поршенька, равный примерно 20 мм; n – количество поршень-

ков (шаг поршеньков по длине планки равен 16 мм, устанавливается в шахматном порядке); D – диаметр поршня гидроцилиндра ($D = 16\text{--}25$ мм); η – КПД гидросистемы ($\eta = 0,8\text{--}0,9$); a и b – плечи коромысла.

Давление в гидросистеме может варьироваться в диапазоне значений 40–70 МПа. Плечи коромысла можно принять одинаковыми. Недостаток гидравлических устройств – неизбежные утечки рабочей жидкости (масла). Это ограничивает такие натяжные системы для рамных пил.

1.3. Примеры расчета крепления рамных пил

Клиновое устройство натяжения

Дано. Ширина полотна с зубьями $B = 110$ мм; толщина пилы $s = 2$ мм; среднее напряжение растяжения $\sigma = 135$ Н/мм²; длина пильного полотна $l = 1220$ мм; модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ Н/мм²; $f_1 = 0,13$; $f_2 = 0,12$; запас угла клина $\Delta\alpha = 1,5^\circ$.

Найти прилагаемое к клину усилие.

Решение

1. Определим силу натяжения $F_{\text{нат}}$, Н, по формуле (1.3):

$$F_{\text{нат}} = 135 \cdot 110 \cdot 2 = 29\,700 \text{ Н.}$$

2. Определим требуемое растяжение Δl , мм, в зависимости от требуемого напряжения σ , Н/мм², по формуле (1.4):

$$\Delta l = \frac{135}{2 \cdot 10^5} \cdot 1220 = 0,8 \text{ мм.}$$

3. Из условия самоторможения клина при клиновом натяжении пил в поставе определим угол α , град, по формуле (1.5):

$$\alpha = \arctg(0,12) - 1,5 = 5,3^\circ.$$

4. Требуемое горизонтальное перемещение клина Δ , мм, найдем по формуле (1.6):

$$\Delta = \frac{0,8}{\tg 5,3} = 8,6 \text{ мм.}$$

5. Прилагаемое усилие выразим из формулы (1.7):

$$\begin{aligned} F &= F_{\text{нат}} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha \cdot f_1) \cdot \cos \alpha + f_2 = \\ &= 29\,700 \cdot (\sin 5,3 + \cos 0,13) \cdot \cos 5,3 + 0,12 = 32\,300 \text{ Н.} \end{aligned}$$

Ответ. Необходимое прилагаемое усилие составило $F = 32\,300\text{ Н}$.

Винтовое устройство натяжения

Дано. Ширина полотна с зубьями $B = 110\text{ мм}$; толщина пилы $s = 2\text{ мм}$; среднее напряжение растяжения $\sigma = 135\text{ Н/мм}^2$; длина пильного полотна $l = 1220\text{ мм}$; шаг резьбы $t = 2,5\text{ мм}$; модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5\text{ МПа}$; коэффициент трения в резьбе $f = 0,14$; угол подъема резьбы $\alpha = 4^\circ$; усилие на рукоятке ключа $F = 150\text{ Н}$; удельное давление в резьбе $q = 13\text{ МПа}$; наружный диаметр винта $D = 22\text{ мм}$; угол опорной поверхности в резьбе треугольного профиля $\beta = 30^\circ$; коэффициент трения скольжения между торцом винта и подкладкой $\mu = 0,15$.

Найти длину ключа, высоту гайки.

Решение

1. Определим силу натяжения $F_{\text{нат}}$, Н, по формуле (1.3):

$$F_{\text{нат}} = 135 \cdot 110 \cdot 2 = 29\,700\text{ Н}.$$

2. Определим приведенный угол трения φ , град, по формуле:

$$\varphi_{\text{пр}} = \arctg\left(\frac{f}{\cos\beta}\right) = \arctg\left(\frac{0,14}{\cos 30}\right) = 9,2^\circ.$$

3. Внутренний диаметр винта d , мм, определим по формуле (1.10):

$$d \approx \frac{22}{1,3} = 16,9\text{ мм}.$$

4. Найдем длину ключа l , мм, выразив из формулы (1.8):

$$\begin{aligned} l &= \frac{F_{\text{нат}}}{F} \cdot \left[0,5 \cdot (D + d) \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_{\text{пр}}) + 0,3\mu \cdot d \right] = \\ &= \frac{29\,700}{150} \cdot \left[0,5 \cdot (22 + 16,9) \cdot \operatorname{tg}(4 + 9,2) + 0,3 \cdot 0,15 \cdot 16,9 \right] = 427\text{ мм}. \end{aligned}$$

5. Определим высоту гайки H , мм, по формуле (1.9):

$$H = \frac{4 \cdot 29\,700 \cdot 2,5}{13 \cdot 3,14 \cdot (22^2 - 16,9^2)} = 36,6\text{ мм}.$$

Ответ. Длина ключа составила $l = 427\text{ мм}$; высота гайки $H = 36,6\text{ мм}$.

Эксцентриковое устройство натяжения

Дано. Ширина полотна с зубьями $B=160$ мм; толщина пилы $s=1,8$ мм; среднее напряжение растяжения $\sigma = 80$ Н/мм²; напряжение смятия цапфы эксцентрика $\sigma_{\text{см}}=40$ МПа; величина запаса на размер установки пилы в захват $\delta=2$ мм; жесткость зажимного устройства $J = 12\,000$ Н/мм; угол поворота эксцентрика $\alpha=80^\circ$; зазор для свободного ввода пилы в захват $s_1=2$ мм; угол трения $\varphi=6^\circ$; коэффициент трения покоя в цапфе $f = 0,1$; модуль упругости $E=2 \cdot 10^5$ Н/мм²; допустимое напряжение на смятие эксцентрика $[\sigma]=1000$ МПа.

Найти момент на рукоятке эксцентрика.

Решение

1. Определим усилие натяжения полотна, Q , Н, по формуле (1.3):

$$F_{\text{нат}} = 80 \cdot 160 \cdot 1,8 = 23\,040 \text{ Н.}$$

2. Величину эксцентриситета эксцентрика e , мм, найдем по формуле (1.13):

$$e = \frac{2 + 2 + \frac{23\,040}{12\,000}}{1 - \cos 80^\circ} = 7,1 \text{ мм.}$$

3. Радиус цапфы эксцентрика r , мм, рассчитаем по формуле (1.15):

$$r = \sqrt{\frac{23\,040}{4 \cdot 40}} = 12 \text{ мм.}$$

4. Определим радиус круга трения ρ , мм, по формуле (1.18):

$$\rho = 0,1 \cdot 12 = 1,2 \text{ мм.}$$

5. Подставим полученные значения в формулу (1.17) и найдем радиус эксцентрика R , мм:

$$R = \frac{7,1 - 1,2}{\sin 6^\circ} = 57,1 \text{ мм.}$$

6. Ширина рабочей части эксцентрика B , мм, будет определена по формуле (1.22):

$$B = 0,17 \cdot \frac{23\,040 \cdot 2 \cdot 10^5}{57,1 \cdot 1000^2} = 13,7 \text{ мм.}$$

7. По формуле (1.26) определим момент M , Н·м, на рукоятке эксцентрика:

$$M = [1 + \sin(100 + 6)] \cdot 7,1 \cdot 23\,040 = 328 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ответ. Момент на рукоятке эксцентрика составил $M = 328 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

1.4. Технология изготовления, подготовка рамных пил к работе

Технологический процесс изготовления рамных пил состоит из следующих основных операций:

1. Разрезание листа на отдельные заготовки.
2. Термическая обработка (закалка, отпуск).
4. Черновая правка.
5. Шлифование поверхностей пилы.
6. Штампование зубьев.
7. Чистовая правка и вальцовка полотна.
8. Полирование.
9. Сортировка пил, клеймение, приклепывание планок и упаковка.

Для обеспечения высокого качества рамной пилы каждая из выполненных операций должна подвергаться строгому контролю в соответствии с установленными нормами и положениями.

Точность размеров и качество обработки рамных пил определяются действующим стандартом [1].

Допускаемые отклонения в размерах полотна пил от номинальных размеров:

- по длине $\pm 2,0$ мм;
- по ширине $\pm 5,0$ мм;
- по толщине $\pm 0,12$ мм.

Допускаемые отклонения в размерах и угловых параметрах зубьев от номинальных размеров:

- по шагу зубьев $\pm 0,5$ мм;
- по высоте зубьев $\pm 0,5$ мм;
- по угловым параметрам $\pm 2^\circ$.

Качество обработки рамных пил должно удовлетворять следующим требованиям:

1. Полотно пилы должно иметь хорошо отшлифованную и отполированную поверхность.

2. На поверхности пилы не должно быть трещин, глубоких царапин, поджогов от шлифования и следов от ударов (вмятин) ручником при правке.

3. Допускаются на каждой стороне полотна до 15 черновин и раковин, размером каждая не более 1 мм^2 , расположенных не скученно, и малозаметные единичные следы от 1 рихтовки.

4. Полотно пилы должно быть хорошо выправлено, без выпучин, искривлений и перекосов.

Зубья рамных пил из стали 9ХФ, подготовленные разводом или плющением, имеют невысокий период стойкости до потери ими режущей способности (2,5–3,5). Оснащение зубьев литыми твердыми сплавами (например, стеллитом ВЗКР, сормайтотом) повышает износостойкость зубьев в 6–7 раз.

Для увеличения периода стойкости пил с зубьями, оснащенными стеллитом, полотно рамной пилы изготавливают из легированной стали марки 8Н1А. Эта сталь имеет более высокие физико-механические показатели по сравнению с 9ХФ.

Подготовка пил, оснащенных литыми твердыми сплавами. Высокий период стойкости зубьев, оснащенных литыми твердыми сплавами, позволяет снизить шероховатость поверхностей пиломатериалов, повышая их качество.

Рекомендуемые угловые параметры зубьев рамных пил, оснащенных литыми твердыми сплавами, представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Угловые параметры зубьев рамных пил, оснащенных литыми твердыми сплавами

Лето				Зима			
Хвойные породы		Твердые породы		Хвойные породы		Твердые породы	
γ	α	γ	α	γ	α	γ	α
18-19	10-20	16-17	10-20	15-16	10-22	14-15	10-23

Примечание: γ – передний угол лезвия; α – задний угол лезвия.

Зубья рамных пил должны иметь уширение на сторону (плющение или развод).

Величина уширения зубьев на сторону (табл. 1.4) зависит от породы распиливаемой древесины и ее температуры.

Таблица 1.4

**Значения уширений зубьев, рекомендуемые
для рамного пиления древесины**

Диаметр сырья, см	Величина уширения зубьев, мм			
	Сосна, ель, влажность свыше 30%		Лиственница	Ясень, бук, ильм и другие твердые породы
	Зима	Лето		
До 30	0,65–0,8	0,75–0,9	0,7–0,8	0,45–0,60
30–50	0,7–0,85	0,8–1,0	0,8–0,9	0,5–0,7
Свыше 50	0,75–0,89	0,9–1,1	0,8–1,0	–

Заточка и эксплуатация рамных пил, оснащенных литыми твердыми сплавами. Пилы в поставе должны быть установлены строго параллельно направлению подачи распиливаемого материала и движению пильной рамки. Отклонения в установке приводят к быстрому нагреву и потере устойчивости рамных пил.

Заточка зубьев рамных пил, оснащенных литыми твердыми сплавами, выполняется на заточных станках шлифовальными кругами, в режиме чистовой заточки: рекомендуемая окружная скорость круга 30–35 м/с, поперечная подача 0,04–0,06 мм, количество проходов – до трех. Заточка осуществляется по профилю зубьев пилы: по передней и задней поверхностям. Рекомендуется применять алмазные шлифовальные круги следующих характеристик: материал шлифовальных кругов 2А, 3А; зернистость 16–25; твердость С1–С2; связка К; структура 7–8. Пилы, снятые с лесопильной рамы, должны находиться в ненапрянутом состоянии не менее 8 ч для стабилизации внутренних напряжений.

2. ЛЕНТОЧНЫЕ ПИЛЫ

2.1. Назначение, конструктивные особенности ленточных пил

Полотно ленточных пил. Размеры полотна ленточных пил характеризуются шириной B ленты, включая зубья, толщиной s и длиной L . Ребровые ленточные пилы имеют размеры по ширине от 75 до 200 мм; узкие ленточные пилы – по ширине от 4 до 50 мм.

Размеры ленточных пил зависят в основном от конструкции ленточнопильных станков. Так, например, начальная ширина ленты зависит от ширины пильного шкива, длина ленты – от расстояния между осями пильных шкивов l и от диаметра последних. От диаметра D пильного шкива зависит также и максимальная толщина ленты.

Указанные зависимости размеров ленты могут быть представлены в следующем виде:

$$L_{\max} = \pi \cdot D + 2 \cdot l_{\max}; \quad (2.1)$$

$$s \leq 0,001 \cdot D. \quad (2.2)$$

Максимальная толщина ленточной пилы обуславливается величиной напряжений, испытываемых ею в процессе работы:

- напряжения от центробежных сил;
- от изгиба ленты на шкивах;
- в результате предварительного натяжения;
- от сил сопротивления резанию, теплового воздействия на ленту и прочие напряжения, являющиеся результатом обработки ленты или установки ее на шкивах.

Последние виды напряжений, испытываемых ленточной пилой в процессе резания, в зависимости от разных факторов (методов обработки ленты, положения верхнего пильного шкива и проч.), распределяются неравномерно по ширине ленты, о чем будет сказано ниже.

Суммарная величина этих напряжений не должна превосходить допустимого напряжения.

Минимальные размеры ленточной пилы по толщине определяются главным образом условиями распиловки и качеством ухода за пилами.

При распиловке мягких пород и малой высоте пропила, а также при хорошей установке пил в поставе целесообразно применять тон-

кие пилы; в случае же распиловки твердых пород мерзлой или сучковатой древесины лучше применять возможно толстые пилы.

В практике применяемая толщина ленточных пил, в зависимости от приведенных условий, имеет следующий диапазон значений:

$$s = (0,001-0,0007) \cdot D.$$

На производство ленточные пилы поступают обычно свернутыми в рулон. Длина ленты в одном рулоне зависит от ее ширины и толщины (от 25 до 50 м).

Профиль и размеры зубьев ленточных пил. В нашей практике чаще всего применяются профили зубьев ленточных реборных пил, приведенные на рис. 2.1.

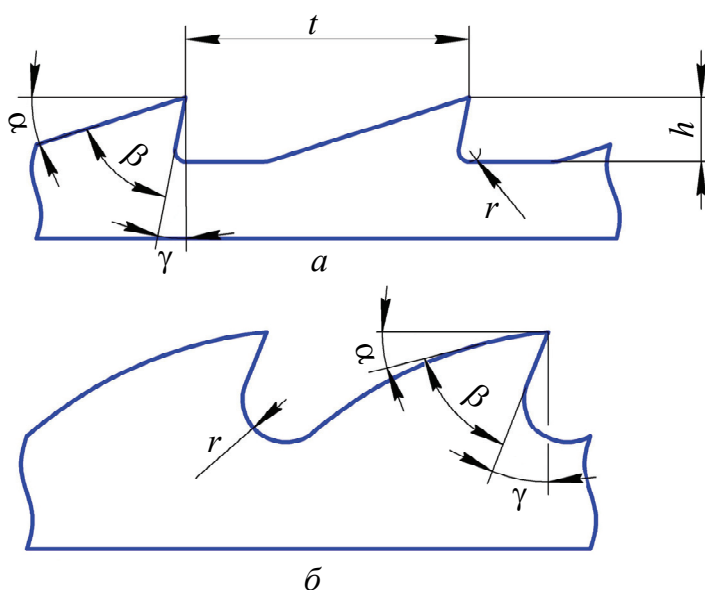


Рис. 2.1. Профили зубьев широких ленточных пил:
а – зуб с плоской впадиной; б – зуб с выпуклой задней гранью

Передний угол зубьев ленточных реборных пил стараются делать по возможности большим, так как в этом случае, с одной стороны, уменьшается усилие, потребное на резание, что важно при работе тонкими пилами, с другой стороны – уменьшаются общие горизонтальные усилия (силы отжима), действующие при работе на пилу и сдвигающие ее со шкивов назад.

Однако увеличение переднего угла γ должно соотносываться также и с технологическими свойствами распиливаемой древесины и требованиями, предъявляемыми к прочности зуба. Последнее обстоятельство зависит от соотношения размеров зуба и угла заострения β .

Угол заострения зубьев ленточных пил следует выдерживать в пределах 40–55°, в зависимости от твердости распиливаемой древесины.

Профиль выпуклого зуба как по угловым значениям, так и по конфигурации впадины (с большим радиусом закругления), обеспечивающий лучшее вращение и прессование опилок, более пригоден для распиловки мягкой хвойной древесины.

Заточка приведенных профилей зубьев осуществляется на специальных автоматах для точки ленточных пил. При заточке, особенно выпуклых зубьев, необходимо следить за правильным профилем точильного круга и подбирать толщину его по размерам зубьев.

В таблице приведены рекомендуемые практикой значения углов резания зубьев, в зависимости от технологических свойств распиливаемой древесины.

Угловые значения профилей зубьев ребровых ленточных пил

Профиль зуба	γ	β	α	δ	Применение
Зуб с прямой впадиной	20–15	50–55	20	70–75	Для твердых пород и мерзлой сучковатой древесины
Выпуклый зуб	30	40	20	60	Для мягкой древесины (хвойные породы)

Ни в коем случае не должны допускаться во впадинах острые углы перехода контура, глубокие риски в результате формирования впадины заточным кругом и т. д.

Размеры зубьев ленточных пил зависят от толщины и ширины пилы и от условий распиловки.

Так, например, шаг плющеного зуба может быть определен по следующей зависимости, установленной на основании практических данных:

$$t \approx (30-35) \cdot s. \quad (2.3)$$

Причем меньшие значения относятся к распиловке более твердых пород и к более узким пилам.

В случае применения развода зубьев указанные значения размеров шага уменьшаются на 25–30%.

Соотношение между прочими размерами зуба зависит от его профиля. Для профиля зуба с прямой впадиной (рис. 2.1, а) имеем:

$$h = (0,25-0,30) \cdot t; \quad (2.4)$$

$$t_1 = (0,4-0,5) \cdot t. \quad (2.5)$$

Для зуба с выпуклой задней гранью (рис. 2.1, б) имеем:

$$h = (0,3-0,35) \cdot t; \quad (2.6)$$

$$r = 0,2 \cdot t. \quad (2.7)$$

Профиль зуба столярной ленточной пилы определяется в зависимости от условия распиловки, технологических свойств распиливаемой древесины и характера распиловки.

Профиль зуба узких (до 20–25 мм) ленточных пил, применяющихся для криволинейной распиловки, изображен на рис. 2.2, а, передний угол такого зуба равен нулю. Для более широких пил и пил для продольной распиловки волокнистых мягких пород древесины применяется профиль зуба с некоторым положительным передним углом.

При заточке зубьев ленточных пил особенно следует избегать образования острых углов во впадинах, так как это неизбежно приводит к разрывам пилы.

Размеры зубьев узких пил зависят в большей мере от ширины пилы. Практически размеры шага t , мм, зубьев подчиняются следующему приближенному соотношению в зависимости от ширины B , мм, пилы:

$$t = (1,5-2,0) \cdot \sqrt{B}. \quad (2.8)$$

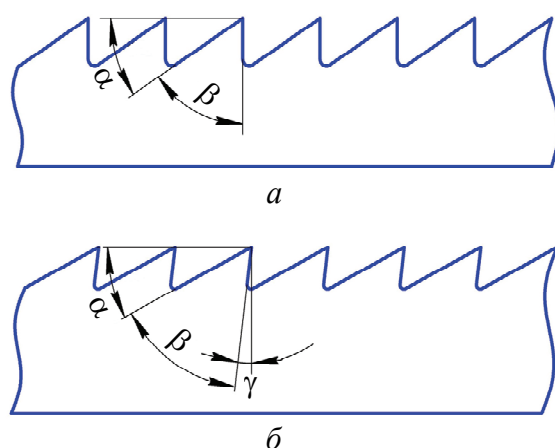


Рис. 2.2. Профили зубьев столярных ленточных пил:
а – для криволинейной распиловки;
б – для делительных и бревнопильных станков

2.2. Методика расчета напряжений изгиба в ленточных пилах

Напряжения от изгиба ленты на шкивах в общем балансе напряжений (от предварительного натяжения, температурного расширения, сил резания, центробежных сил, внутренних напряжений при изготовлении пилы и др.), испытываемых лентой в процессе работы, имеют наибольшее значение по величине и являются линейной функцией от толщины s , мм, ленты и диаметра D , мм, пильных шкивов. Поэтому величину данных напряжений необходимо рассчитывать при установке конкретного типоразмера пилы в заданную модель станка и сопоставлять ее с допускаемым значением напряжений, исходя из условий прочности.

На рис. 2.3 изображена ленточная пила толщиной s , изогнутая по ободу пильного шкива радиуса $R = D / 2$.

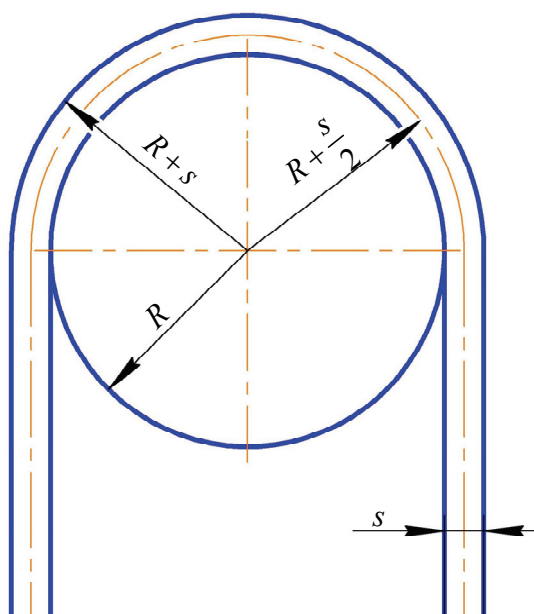


Рис. 2.3. Схема изгиба ленты на ободу пильного шкива

На внешней части ленты в результате изгиба возникают растягивающие напряжения, на внутренней – сжимающие.

Абсолютное удлинение λ , испытываемое внешней частью ленты, при обхвате половины пильного шкива определяется как разность полуокружностей на внешней поверхности и в среднем нейтральном слое ленты:

$$\lambda = \pi \cdot (R + s) - \pi \cdot \left(R + \frac{s}{2} \right) = \frac{\pi \cdot s}{2} . \quad (2.9)$$

Относительное удлинение будет соответствовать следующему значению:

$$\Delta = \frac{\lambda}{\pi \cdot \left(R + \frac{s}{2}\right)} = \frac{\pi \cdot s}{2 \cdot \pi \left(R + \frac{s}{2}\right)} \approx \frac{s}{2 \cdot R} = \frac{s}{D} . \quad (2.10)$$

Величина напряжения от изгиба ленты на шкивах получится тогда из выражения:

$$\sigma = E \cdot \Delta = E \cdot \frac{s}{D} . \quad (2.11)$$

Таким образом, зная толщину полотна и материал ленточной пилы, а также диаметр шкива станка, по формуле (2.11) определяется напряжение от изгиба в полотне пилы при ее креплении в ленточно-пильном станке.

2.3. Пример расчета напряжения изгиба в ленточных пилах

Дано. Диаметр шкива $D = 800$ мм; толщина полотна $s = 0,8$ мм; модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ Н / мм².

Найти: абсолютное удлинение λ , мм; относительное удлинение Δ ; напряжения от изгиба σ , Н/мм².

Решение

1. Определим абсолютное удлинение λ , мм, по формуле (2.9):

$$\lambda = \frac{3,14 \cdot 0,8}{2} = 1,26 \text{ мм.}$$

2. По формуле (2.10) определим относительное удлинение Δ :

$$\Delta = \frac{0,8}{800} = 0,001 \text{ мм.}$$

3. Подставим значения в формулу (2.11) и определим напряжения от изгиба ленты на шкивах σ , Н/мм²:

$$\sigma = 2 \cdot 10^5 \cdot 0,001 = 200 \text{ Н/мм}^2.$$

Ответ. Абсолютное удлинение составило $\lambda = 1,26$ мм; относительное удлинение $\Delta = 0,001$; напряжения от изгиба $\sigma = 200$ Н/мм².

2.4. Требования к подготовке ленточных пил к работе

Точность размеров и качество обработки ленточных пил должны удовлетворять следующим требованиям:

- режущая и тыловая кромки ленточной пилы должны быть строго параллельными и прямолинейными. Допускаемое отклонение от прямолинейности не более 0,1 мм на 1 м длины.

- точность размеров отдельных зубьев ленточной пилы должна быть в пределах для шага зуба $\pm 0,2$ мм, для высоты зубьев $\pm 0,1$ мм, толщины ленты $\pm 0,05$ мм.

Качество обработки должно удовлетворять следующим требованиям:

- лента должна иметь хорошо отшлифованную и отполированную поверхность, без заметных рисок от шлифовки;

- на поверхности полотна не должно быть плен, раковин, черновин и поверхностных трещин;

- на полотне пилы не должны быть заметны следы от ударов рихтовального и правильного молотков;

- во впадинах зубьев не должно быть трещин, расслоений и заусенцев от штамповки.

Ленточная пила (шириной свыше 50 мм) должна быть провальцована в средней части, без выпучин и изгибов полотна.

Ленточные узкие пилы применяют не только для продольной распиловки деталей, но и для криволинейной.

Нормальная работа ленточной пилы в случае криволинейного пропила может быть обеспечена лишь при условии свободного размещения пилы по всей своей ширине в пропиле (рис. 2.4).

Из рис. 2.4 и геометрических расчетов легко убедиться в том, что радиус кривизны линии пропила зависит от величины развода Δ и ширины пилы B . Эта зависимость подчиняется следующему приближенному выражению:

$$c \approx \frac{0,12 \cdot B^2}{\Delta}. \quad (2.12)$$

Если для выпиливания криволинейных деталей применяются пилы большей ширины, пила изгибается в пропиле. Это приводит к отклонениям пропила от намеченной линии и при значительных изгибах ленты может привести к соскальзыванию пилы со шкива или к ее разрыву.

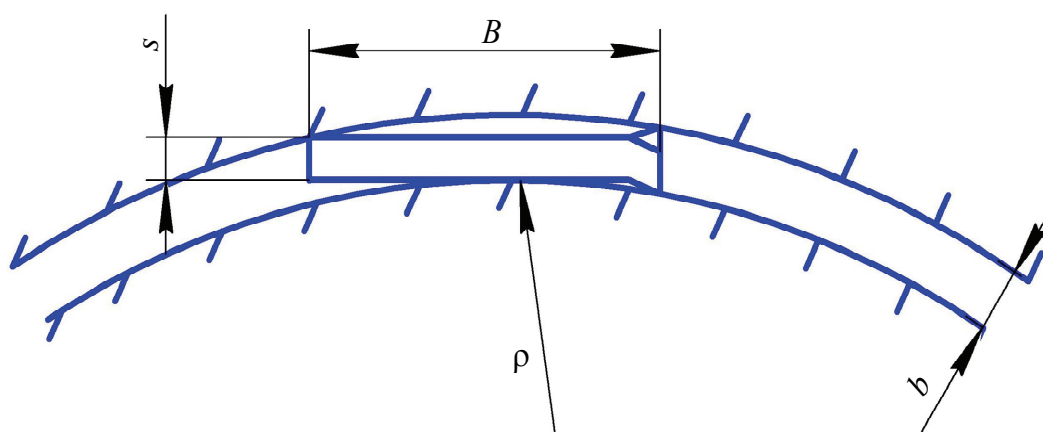


Рис. 2.4. Схема размещения полотна ленточной пилы в криволинейном пропиле

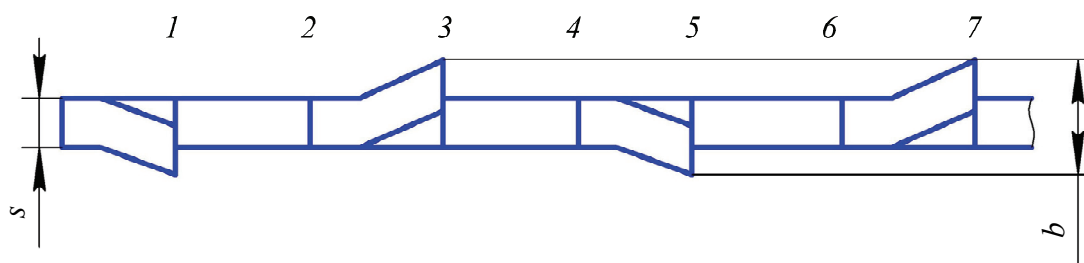


Рис. 2.5. Схема развода зубьев ленточных пил, когда $b > 2s$:
3 и 7 – зубья, разведенные вправо; 1 и 5 – зубья, разведенные влево;
2, 4, 6 – зубья без развода

Однако в определенных пределах возможно выпиливание криволинейных деталей с малым радиусом кривизны пилами сравнительно широкими, но при условии увеличения развода зубьев выше двойной толщины пилы. В этом случае развод зубьев в правую и левую стороны осуществляется с попеременным чередованием через зуб, как это показано на рис. 2.5.

3. КРУГЛЫЕ ПИЛЫ

3.1. Назначение, конструктивные особенности круглых пил

Круглые пилы предназначены для распиловки древесины и древесных материалов. Классификация круглых пил приведена на рис. 3.1 [3].

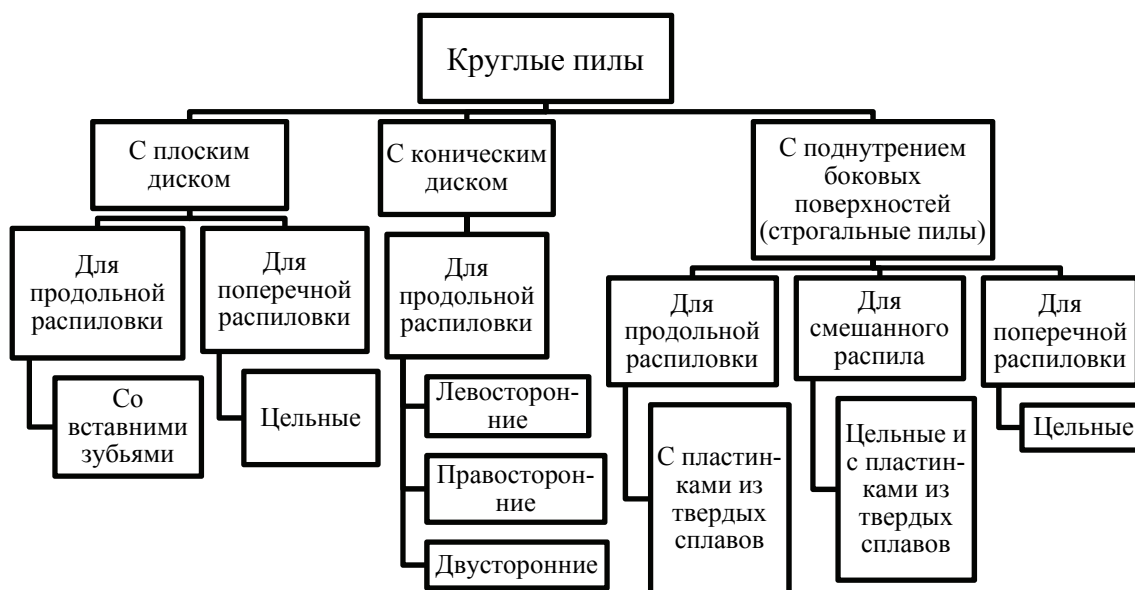


Рис. 3.1. Классификация круглых пил

Дисковые пилы, имеющие различную толщину диска по диаметру, характеризуются толщиной S у периферии и в зоне пилы S_0 , закрепляемой шайбами. Максимальный диаметр дисковой пилы $D_{\text{макс}}$ предопределяется так же, как и диаметр внутреннего отверстия, конструкцией станка.

Соотношение между размерами распиливаемого материала, конструктивными параметрами станка и минимальным диаметром дисковой пилы подчиняется для различных типов круглопильных станков следующим выражениям:

1. Дисковые пилы для продольной распиловки с нижним расположением шпинделя станка (рис. 3.3, а):

$$D_{\text{мин}} = 2 \cdot (H + C + 10), \quad (3.1)$$

где H – толщина распиливаемого материала; C – расстояние от оси вращения пилы до поверхности стола, мм.

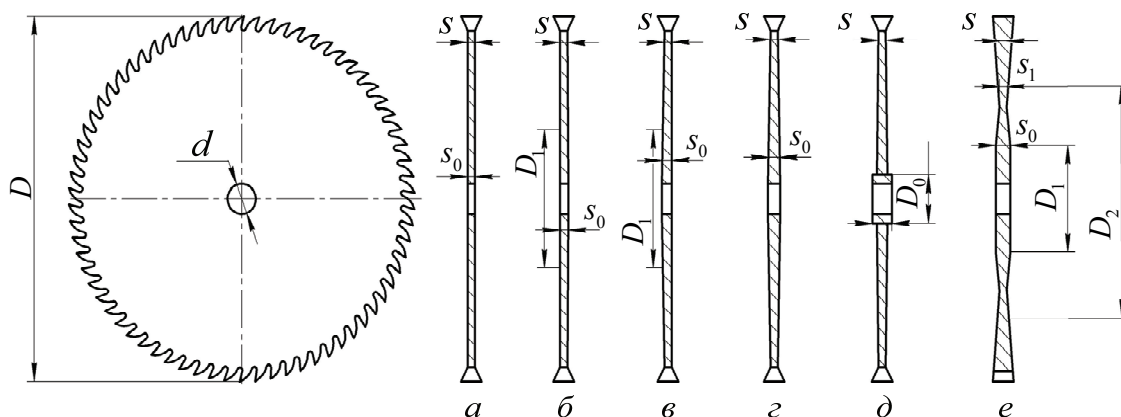


Рис. 3.2. Диск круглой пилы:

a – плоский равной толщины; *б* – односторонний конический правый;
в – односторонний конический левый; *г* – двухконический; *д* – с одиночным
 поднутрением; *е* – с двойным поднутрением

2. Дисковые пилы для продольной распиловки с верхним расположением шпинделя станка (рис. 3.3, б):

$$D_{\text{мин}} = 2 \cdot (H + r + 10). \quad (3.2)$$

3. Дисковые пилы маятниковых торцовых пил (рис. 3.3, в):

$$B_{\text{макс}} = \sqrt{(L + R)^2 - (L + C)^2} + b; \quad (3.3)$$

$$D_{\text{мин}} = 2\sqrt{(B - b)^2 + (L + C)^2} - (L - 10). \quad (3.4)$$

4. Дисковые пилы балансирных торцовых пил (рис. 3.3, г):

$$D_{\text{мин}} = 2\sqrt{(B - b)^2 + (C + H)^2}; \quad (3.5)$$

$$B_{\text{макс}} = b + \sqrt{R^2 - (C + H)^2}. \quad (3.6)$$

5. Дисковые пилы торцовочных станков с прямолинейным перемещением суппорта (рис. 3.3, д):

$$D_{\text{мин}} = 2 \cdot (H + r + 10). \quad (3.7)$$

6. Дисковые пилы торцовых концеравнителей (рис. 3.3, е):

$$D_{\text{мин}} = 2 \cdot (H + C + 10). \quad (3.8)$$

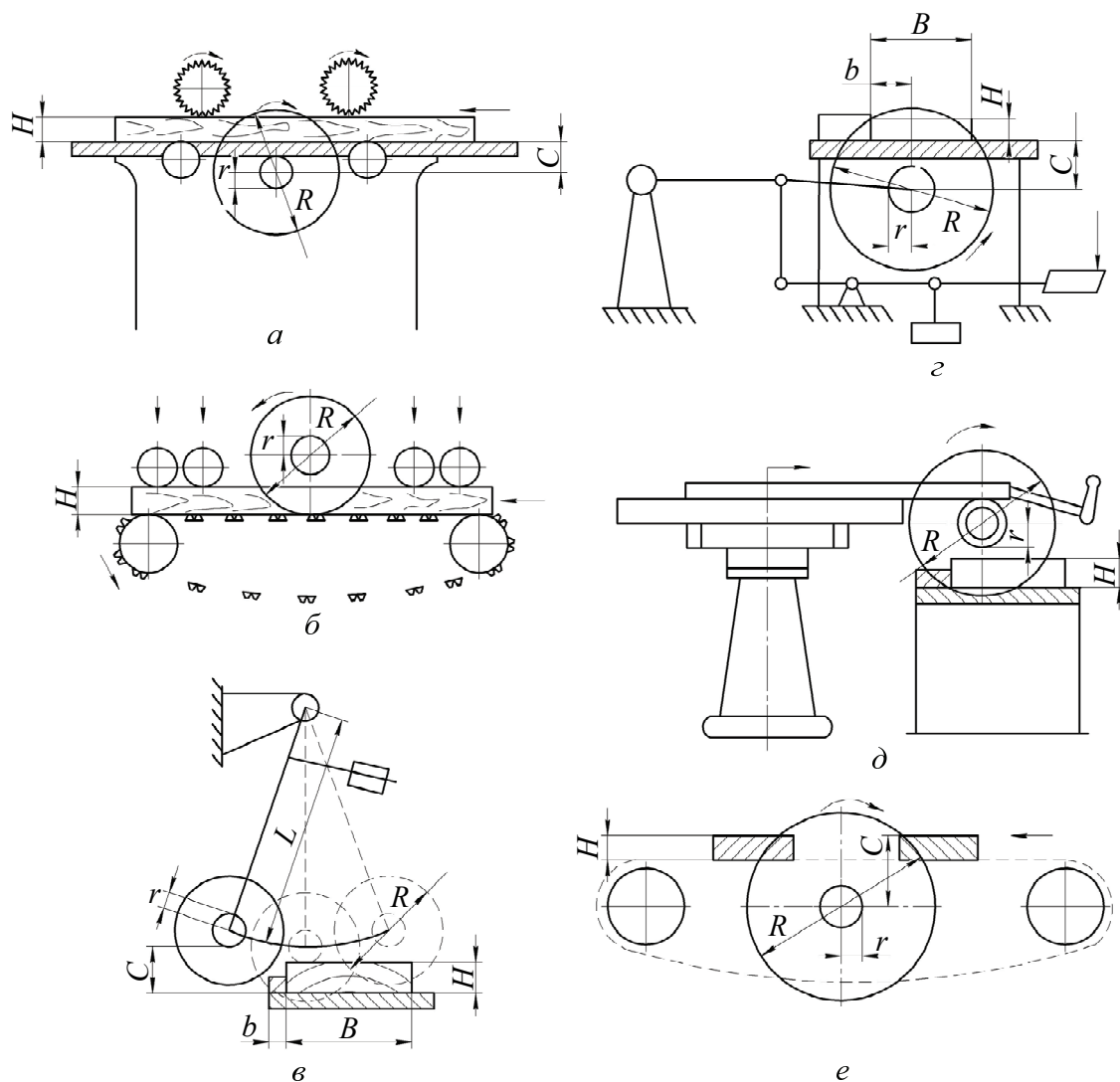


Рис. 3.3. Зависимость диаметра круглых пил от размеров распиливаемого материала и конструкции станка

Начальный диаметр дисковой пилы

$$D = D_{\text{мин}} + 2\Delta,$$

где Δ – запас на износ по радиусу.

Применение круглых пил с минимальным начальным диаметром улучшает условия распиловки в силу следующих причин:

- уменьшается угол встречи θ , в связи с чем снижается расход мощности на резание;
- уменьшается толщина стружки, приходящаяся на каждый зуб, и улучшается качество распила;

– требуется меньший развод зубьев и допускается меньшая толщина диска, в связи с этим снижаются потери на пропил и расход мощности на пиление;

– увеличивается устойчивость круглых пил в работе;

– уменьшается расход заточных кругов на подготовку зубьев.

Зависимость между толщиной и диаметром диска (средние значения) может быть выражена следующей зависимостью:

$$S = (0,08-0,12) \cdot \sqrt{D} .$$

При тщательном уходе за дисковыми пилами (проковке, заточке, вальцевании и пр.) возможно применение тонких пил со значением толщины.

Для продольной распиловки древесины в отечественной практике лесопиления и деревообработки используются профили зубьев, приведенные на рис. 3.4, *а*.

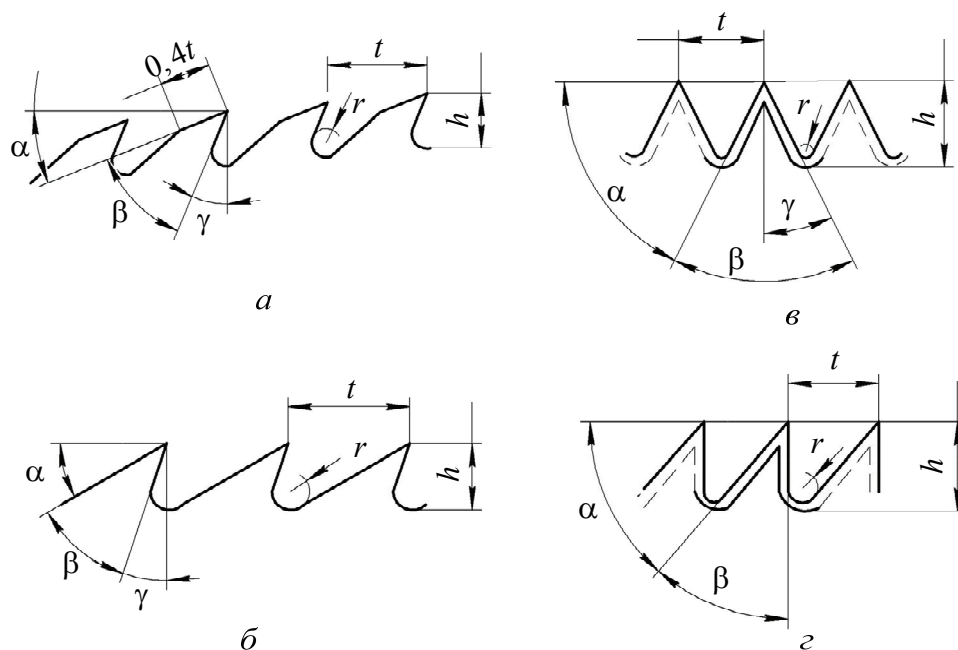


Рис. 3.4 Профили зубьев цельных дисковых пил:

а, б – для продольной распиловки;

в, г – для поперечной распиловки

Для распиловки хвойной древесины применяется преимущественно зуб с прямой задней гранью, реже – зуб с ломано-линейной задней гранью.

Угловые значения данных профилей зубьев приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Угловые значения зубьев дисковых пил для продольной распиловки

Профиль зуба	Угловые параметры, град		
	γ	β	α
Зуб с ломано-линейной задней гранью	20–40	35–55	15–10
Зуб с прямой задней гранью	20–25	35–40	30

Меньшие значения переднего угла γ зуба относятся к распиловке твердой древесины, так как связанное с этим увеличение угла заострения β обеспечивает большую прочность зуба.

Большие значения переднего угла зуба относятся к распиловке мягких древесных пород.

По ГОСТ 980–69 на дисковые пилы приняты следующие угловые параметры зубьев (рис. 3.4):

- для типа 1: $\gamma = 35^\circ$; $\beta = 40^\circ$; $\alpha = 15^\circ$; (рис. 3.4, а);
- для типа 2: $\gamma = 20^\circ$; $\beta = 40^\circ$; $\alpha = 30^\circ$; (рис. 3.4, б).

Для чистовой продольной распиловки на зубьях дисковых пил формируют косую заточку передней и задней граней.

В соответствии с условием жесткости зуба в боковом направлении существуют следующие экспериментальные зависимости максимальных размеров параметров зуба круглых пил в зависимости от толщины диска для начальных размеров пилы:

$$t \cong (10-14) \cdot S;$$

$$h \cong (0,5-0,7) \cdot t;$$

$$r = 0,2 \cdot t.$$

Максимальное число зубьев круглой пилы в связи с этим, зависящее от ее начального диаметра и толщины, может быть определено по следующей практической формуле:

$$z_{\text{мин}} = \frac{\pi \cdot D}{t} = \frac{3,14 \cdot D}{(10-14) \cdot S} = (0,31-0,22) \cdot \frac{D}{S}.$$

Ряд зарубежных фирм, таких как Leitz, Faba, Nook, Leuco, Freud и другие выпускает пилы с ограничителями толщины снимаемой стружки для станков с ручной подачей. Особенность этих пил – наличие ограничителей, расположенных перед зубьями. При работе на станках с ручной подачей возможен выброс заготовки. Начальная скорость выброса заготовки составляет 40 м/с при работе обычным инструментом, а при работе пилами с ограничителями не превышает

5 м/с. Это достигается за счет того, что максимальный радиус ограничителей на 0,6–0,8 мм меньше радиуса резания. Тем самым ограничители препятствуют захвату заготовки передней поверхностью зубьев и регламентируют подачу на один зуб.

Процессы резания при поперечной и продольной распиловках существенно различаются. Так, при продольной распиловке перерезание волокон по длине производится короткой режущей кромкой, в то время как при поперечной распиловке – внешней боковой режущей кромкой.

Действие короткой режущей кромки сводится лишь к сниманию (отрыву) и удалению стружек, перерезаемых боковыми кромками. Боковая режущая кромка в этом случае должна быть наклонена не назад, как в зубьях при продольной распиловке, а вперед, так как при таком положении создается необходимый подпор волокнам. В противном случае вследствие малой сопротивляемости древесины в направлении, нормальном к длине волокон, последние, поднимаясь под воздействием лезвия зуба, будут разрываться и вызывать распространяющиеся от зоны резания деформации (мшистый рваный распил).

Для уменьшения угла резания передняя режущая и задняя грани должны иметь косую заточку под углом φ , вследствие чего угол резания боковой режущей кромки становится меньше 90° (рис. 3.5).

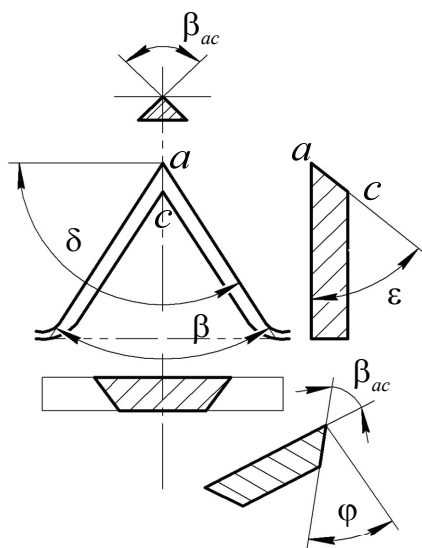


Рис. 3.5. Геометрия зуба для поперечной распиловки древесины

Рекомендуются следующие профили зубьев пилы для поперечной распиловки (рис. 3.4, а) с угловыми параметрами:

- для типа 3: $\gamma = 0$; $\beta = 40^\circ$ (рис. 3.4, в);
- для типа 4: $\gamma = -25^\circ$; $\beta = 50^\circ$ (рис. 3.4, з).

Углы косых заточек граней зубьев колеблются в пределах:

- для мягких пород $25-30^\circ$;
- для твердых пород $10-15^\circ$.

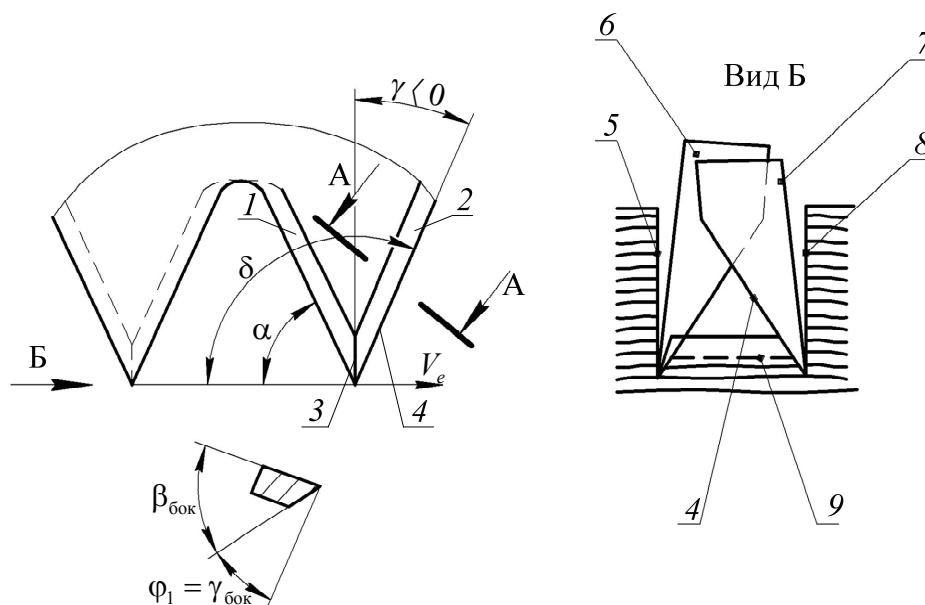


Рис. 3.6. Стружкообразование при пилении древесины поперек волокон:
 1 – задняя грань зуба; 2 – передняя грань зуба; 3 – боковое лезвие; 4 – короткое лезвие; 5 – левая стенка пропила; 6 – левый зуб; 7 – правый зуб; 8 – правая стенка пропила; 9 – поверхность скалывания элемента стружки; V_e – вектор скорости резания; α – задний угол; δ – угол резания; γ – передний угол; ϕ – угол косой заточки; $\beta_{бок}$ – угол резания бокового лезвия

Размеры зубьев дисковых цельных пил среднего диаметра могут быть определены по следующим практическим формулам:

$$t \leq (8-10) \cdot S;$$

$$h = (0,6-0,9) \cdot t; .$$

$$r = 0,1 \cdot t .$$

Минимально допустимое число зубьев дисковых пил для поперечной распиловки может быть определено по формуле в зависимости от твердости распиливаемой древесины:

$$z_{\min} \leq (0,30-0,40) \cdot \frac{D}{S}.$$

Для распиловки древесины, древесных материалов и фанерованных плит применяются три типа зубьев с пластинками из твердых сплавов.

Для продольной распиловки цельной и клееной древесины и волокнистых плит по ГОСТ 9769 рекомендуется применять второй тип зубьев (рис. 3.4).

Передний угол γ имеет два значения: 10 и 20°.

По данным отечественной и зарубежной практики продольной распиловки древесины и древесных материалов, рекомендуются угловые значения зубьев с пластинками из твердых сплавов, представленные в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Угловые параметры дисковых пил с пластинками из твердых сплавов

Обрабатываемый материал	Угловые параметры, град		
	γ	β	α
Мягкие породы древесины	25–30	45–40	20
Твердые лиственные породы	20–25	55–50	15
Клееные плиты, фанера	15–20	65–60	10
Древесностружечные плиты	20–25	65–60	15
Прессованная древесина	10–15	70–65	10
Древесноволокнистые пластики	10–15	65–60	10–15

Профили зубьев круглых пил с пластинками из твердого сплава по ГОСТ 9769 для поперечной и смешанной распиловки древесных материалов, для продольной распиловки древесины и древесных материалов, для чистовой распиловки древесных материалов и фанеры представлены на рис. 3.7.

Многообразие этих решений, отличающихся формой главной режущей кромки, обеспечивает качественное пиление при однопильной схеме резания.

Основной формой является зуб с прямой режущей кромкой (форма 1, рис. 3.8). Пилы с такой формой зуба применяются при двух- и однопильной схеме пиления, имеют меньшее число зубьев. При этом затраты на заточку минимальны.

Для раскроя фанеры, древесноволокнистых плит, древесностружечных плит, облицованных натуральным шпоном и ламинированных, широкое распространение получили пилы с разносторонним наклоном зубьев (с разносторонней косой заточкой – форма 2).

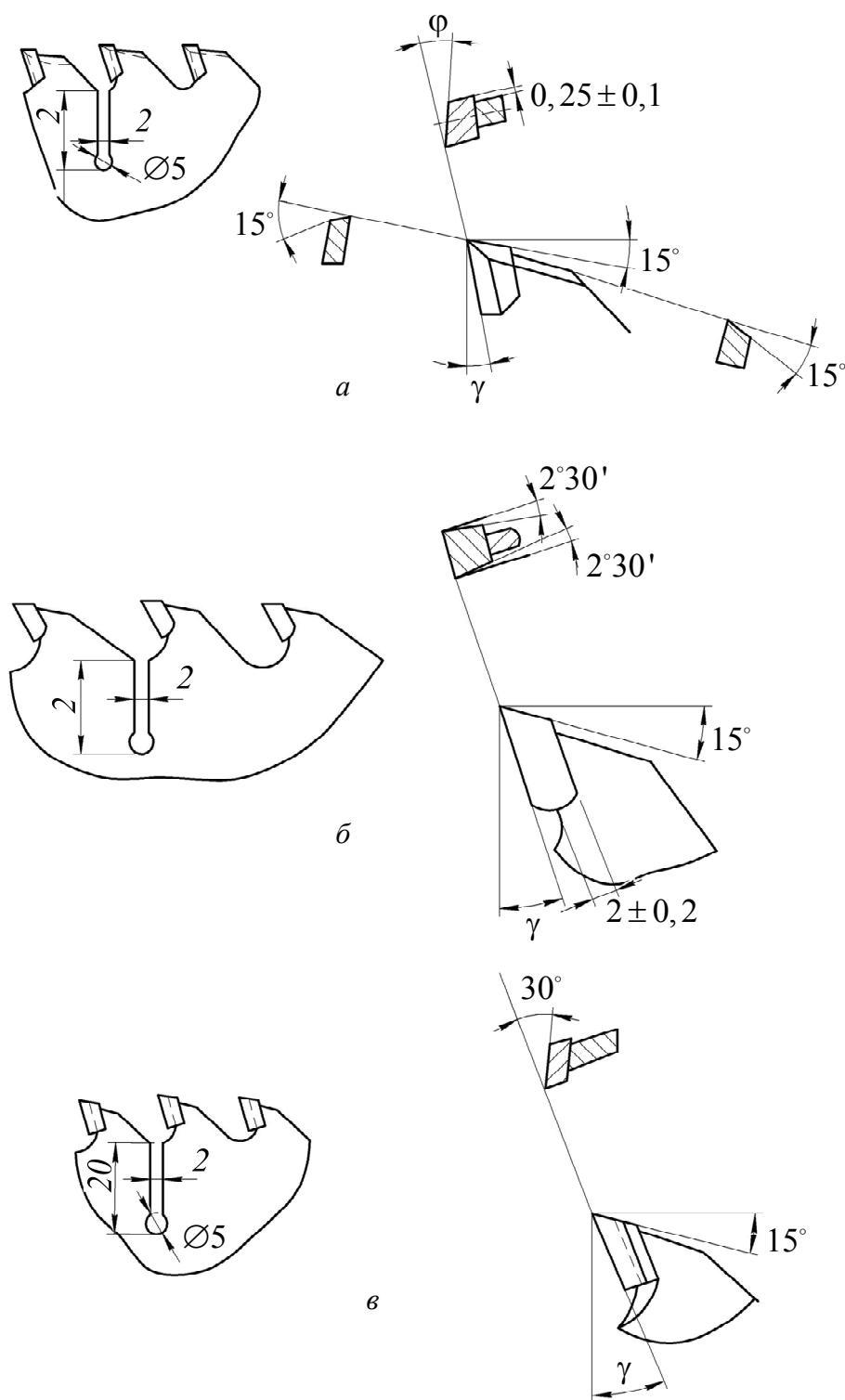


Рис. 3.7. Профили зубьев дисковых пил с пластинками из твердого сплава по ГОСТ 9769:
a – для поперечной и смешанной распиловки древесины материалов,
б – для продольной распиловки древесины и древесных материалов,
в – для чистовой распиловки древесных материалов и фанеры

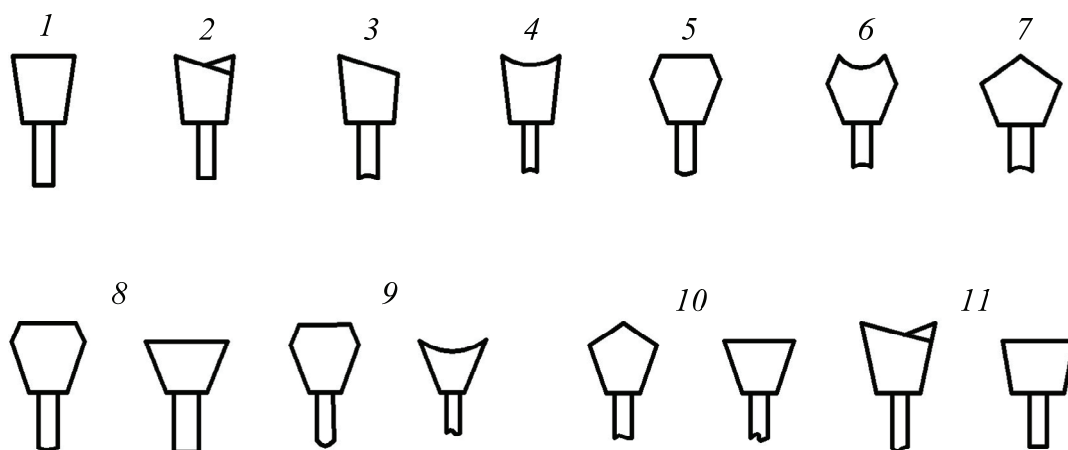


Рис. 3.8. Формы зубьев пил с твердосплавными пластинами:

1 – с прямой режущей кромкой; 2 – с разносторонним наклоном;
 3 – с односторонним наклоном; 4 – радиусный; 5 – трапецидальный;
 6 – радиусный с фасками; 7 – треугольный; 8, 9, 10, 11 – комбинированные

Более острые режущие кромки по сравнению с прямой режущей кромкой обеспечивают эффект подрезки наружных поверхностей обрабатываемого материала. В то же время для этой формы зубьев характерен большой линейный износ, пилы должны иметь большее число зубьев, трудоемкость заточки их возрастает. Нельзя не учитывать, что такая форма зубьев является одним из источников поперечных колебаний пилы.

Пилы с односторонним наклоном режущих кромок (форма 3) зубьев применяются в основном для чистовой опиловки заготовок из древесных материалов с образованием рейки-отхода, качество поверхности которой не учитывается. Радиусная форма режущих кромок зубьев по назначению аналогична форме зубьев с разносторонним наклоном. Преимущество этой формы в том, что подрезка кромки обрабатываемого материала осуществляется каждым зубом, а не через один.

Однако при изготовлении и эксплуатации таких пил возникают дополнительные трудности, так как необходимо обеспечить строгую симметричность радиусной поверхности относительно торцовых поверхностей корпуса пилы. Стремление разделить ширину пропила на отдельные участки, обработка которых осуществляется от середины пропила к краям, и тем самым уменьшить величину сколов привело к созданию трапецидальной и треугольной форм зубьев (формы 5, 7). Комбинированные формы зубьев 8, 9, 10 и 11 обеспечивают разделение во времени нагрузки на обрабатываемый материал

от сил резания. Разность между диаметрами окружностей резания зубьев таких пил достигает 1 мм.

В практике наибольшее распространение получили пилы с зубьями формы 1 и 2.

3.2. Методика расчета крепления круглых пил

Для надежного крепления пилы на валу необходимо условие, согласно методике [4]:

$$M_{\text{рез}} < M_{\text{тр}} \quad (3.9)$$

или

$$\alpha \cdot M_{\text{рез}} = M_{\text{тр}}. \quad (3.10)$$

Определим момент касательной составляющей силы резания $M_{\text{рез}}$ по формуле:

$$M_{\text{рез}} = F_{\text{к}} \cdot \frac{D}{2}. \quad (3.11)$$

Определим касательную составляющую $F_{\text{к}}$ силы резания по формуле:

$$F_{\text{к}} = \frac{1000 \cdot P_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{прив}}}{V}, \quad (3.12)$$

где $P_{\text{дв}}$ – мощность двигателя, кВт; $\eta_{\text{прив}}$ – КПД привода; V – скорость главного движения, м/с.

Скорость главного движения V определим по выражению:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000}, \quad (3.13)$$

где D – диаметр режущего инструмента, мм; n – частота вращения режущего инструмента, мин⁻¹.

$$M_{\text{рез}} = \frac{3 \cdot 10^7 \cdot P_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{прив}}}{\pi \cdot n}; \quad (3.14)$$

$$M_{\text{тр}} = \alpha \cdot \frac{3 \cdot 10^7 \cdot P_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{прив}}}{\pi \cdot n}. \quad (3.15)$$

Давление q , МПа, от силы затяжки прижимной шайбой на диск пилы определим по формуле:

$$q = \frac{F}{S}, \quad (3.16)$$

где F – необходимое усилие затяжки гайки, Н; S – площадь контактного кольца диска пилы и прижимной шайбы, мм², определим по формуле:

$$S = \pi \cdot (r_2^2 - r_1^2), \quad (3.17)$$

где r_2 – наружный радиус прижимной шайбы, мм; r_1 – внутренний радиус прижимной шайбы, мм.

Тогда элементарный момент силы трения на узком кольце контакта прижимной шайбы и пилы определим по формуле:

$$dM_{\text{тр1}} = r \cdot dF_{\text{тр1}}; \quad (3.18)$$

$$dF_{\text{тр}} = q \cdot f \cdot dS;$$

$$dS = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr.$$

Тогда

$$dM_{\text{тр1}} = r \cdot q \cdot f \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr.$$

То есть

$$dM_{\text{тр1}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot q \cdot r^2 \cdot dr.$$

Тогда интегрируем данное выражение

$$\int dM_{\text{тр1}} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot q \cdot \int_{r_1}^{r_2} r^2 dr.$$

Получим

$$M_{\text{тр1}} = \frac{2f \cdot (r_2^3 - r_1^3) \cdot F}{3 \cdot (r_2^2 - r_1^2)}.$$

Так как $M_{\text{тр}} = 2 \cdot M_{\text{тр1}}$ (имеем две поверхности контакта прижимной шайбы к пиле), пренебрегая силой трения между зажимной гайкой и прижимной шайбой, получим

$$M_{\text{тр}} = \frac{4 \cdot f \cdot (r_2^3 - r_1^3) \cdot F}{3 \cdot (r_2^2 - r_1^2)}.$$

Тогда подставим последнее выражение в левую часть формулы (3.15) и получим

$$\frac{\alpha \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot P_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{прив}}}{\pi \cdot n} = \frac{4 \cdot f \cdot (r_2^3 - r_1^3) \cdot F}{3 \cdot (r_2^2 - r_1^2)}.$$

Определяем необходимое усилие затяжки:

$$F = \frac{\alpha \cdot 9 \cdot 10^7 \cdot P_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{прив}} \cdot (r_2^2 - r_1^2)}{4 \cdot f \cdot \pi \cdot n \cdot (r_2^3 - r_1^3)}.$$

Таким образом, зная технические характеристики двигателя и КПД привода механизма резания круглопильного станка, размеры прижимной шайбы, можно определить необходимое усилие затяжки.

3.3. Технология изготовления, подготовка круглых пил к работе

Материал режущей части пил – твердый сплав марок ВК6, ВК15 (ГОСТ 3882–74). Рекомендации по выбору диаметра пил с твердосплавными пластинами аналогичны рекомендациям по выбору диаметра круглых пил из инструментальной стали. Отличие заключается в том, что запас на переточки равен 6–7 мм при длине пластины 10 мм.

В пилах, оснащенных твердосплавными пластинами, выпускаемых зарубежными фирмами, делаются различные по форме прорезы в корпусах пил (рис. 3.9). Радиальные прорезы 1 предназначены для компенсации температурных напряжений как при изготовлении, так и при эксплуатации пил. Обычно на корпусе делается 4–6 прорезов длиной 20–50 мм в зависимости от диаметра пил. Прорезы 2, 3 и 4 предназначены для изменения частотных характеристик (уменьшения уровня шума) и лучшего охлаждения пил при работе. Однако данных, подтверждающих положительное влияние прорезов такой формы, нет.

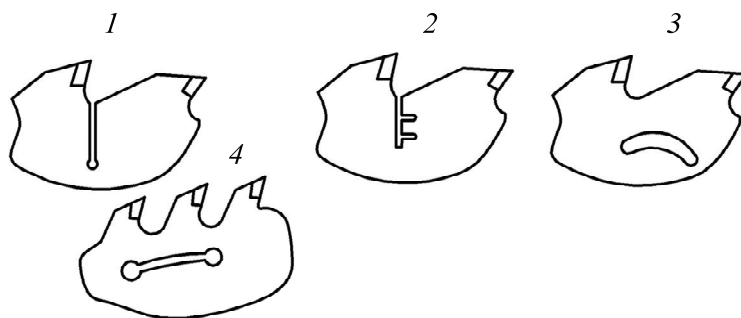


Рис. 3.9. Формы прорезей в корпусах круглых пил с пластинами из твердого сплава

Заточку пил производят алмазными кругами чашечной и тарельчатой конической формы 12A2 (ГОСТ 16175–81), AC2, AC4 (ГОСТ 9206–80) на органической связке, зернистостью 125/100–100/80 для заточки и 80/63–

63/50 для доводки. Режимы заточки: скорость круга 20–25 м/с, продольная подача 1,5–2,5 м/мин, поперечная подача 0,02–0,04 мм/дв. ход. Режимы доводки: скорость круга 20–25 м/с, продольная подача 0,5–1,5 м/мин, поперечная подача 0,005–0,1 мм/дв. ход.

Пилы с твердосплавными пластинами, готовые к работе, должны отвечать следующим основным требованиям:

- отклонение от плоскостности корпуса на каждой стороне пилы, расположенной в вертикальной плоскости, не более 0,1 мм для пил диаметром до 400 мм и 0,15 для пил диаметром свыше 400 мм;

- предельные отклонения передних, задних и углов наклона – не более $\pm 2^\circ$; вспомогательных углов – $+30'$;

- разность двух любых шагов зубьев при шаге зубьев 10–18 мм не более 0,6 мм, 18–30 мм – не более 0,7 мм, свыше 30 мм – не более 0,8 мм;

- радиальное биение зубьев не более 0,15 мм;

- торцовое биение зубьев не более 0,2 мм для пил диаметром до 400 мм и 0,25 мм для пил диаметром свыше 400 мм;

- шероховатость поверхностей R_z зубьев пил должна характеризоваться показателем R_z не более 1,6 мкм.

Учет основных теплофизических свойств металлов и припоя.

Наличие внутренних напряжений в пластинке твердого сплава после пайки является следствием различных абсолютных значений термических коэффициентов линейного расширения твердого сплава и корпуса зуба инструмента.

Для круглых пил очень важной характеристикой является коэффициент теплопроводности пластинки твердого сплава. Тонкие пилы, диски которых более чувствительны к температурному перепаду между периферией и центральной частью, эффективно оснащать сплавами с низким коэффициентом теплопроводности. Опыты показывают, что в сравнимых условиях опытные пилы, оснащенные пластинками твердого сплава группы ТК, нагреваются по периферии до температуры в 1,5 раза меньшей, чем оснащенные сплавами ВК. Это объясняется тем, что коэффициент теплопроводности титанокобальтовых сплавов в два раза ниже, чем вольфрамокобальтовых. Это свидетельствует о предпочтении выбора для тонких пил твердых сплавов с малой теплопроводностью.

Прочность паяного соединения зависит от многих факторов: температурных режимов пайки, теплофизических и физико-механических свойств основных металлов и припоя, рациональной конструкции инструмента. Практика и исследования показывают, что разрушение паяного соединения в процессе эксплуатации происходит или толь-

ко по пластинке твердого сплава, или по пластинке и, частично, по паяному шву.

Разрушение по пластинке свидетельствует о наличии в твердом сплаве больших внутренних напряжений после пайки и устраняется указанными выше методами, а также применением более пластичных твердых сплавов, например ВК20, ВК25.

Пластинки из твердого сплава выпускают согласно ГОСТ 13833–77 «Пластины твердосплавные для дисковых дереворежущих пил. Конструкция и размеры» трех типов (01Д, 02Д, 03Д).

Пайку пластинок производят контактным способом на электроконтактных установках НПЭ-50М.

Чаще используется припой ПСР и Л63. Температура плавления припоя Л63 составляет 750–980°C.

Требования к качеству пайки пластинок:

- расположение строго симметричное относительно плоскости симметрии пильного диска;
- не должно быть разрыва паяного шва;
- толщина слоя припоя одинаковая (допуск +0,1 мм);
- на поверхностях корпусов пил не должно быть цветов побежалости от нагрева пластин;
- выход пластинки за пределы номинального диаметра пилы должен быть минимальным (по ГОСТ 9769 радиальное биение вершин зубьев не более 0,15 мм).

Большие допуски вынуждают при заточке снимать большую часть пластинки. Увеличивается продолжительность заточки, удорожается весь процесс, часто требуется предварительная грубая заточка, что ведет к перерасходу пластинок, абразивов.

Состав флюса зависит от марок припоя и основных металлов. Для случая пайки твердосплавного дереворежущего инструмента (корпус инструмента – стали: 9ХФ, 9ХФМ, 65ХФ; изделия твердого сплава: ВК6, ВК10, ВК15, ВК20 и др.) рекомендуемыми припоями являются: серебряные – ПСр-40; латунные – Л63 и медно-никелевые ПрМНМц 68-4-2.

Припой ПрМНМц 68-4-2 следует применять для пильного инструмента с большим шагом и работающего в тяжелых условиях: рамные и тарные пилы, круглые плоские пилы многопильных и обрезных станков и раскряжевочных установок (слешеров, триммеров и пр.). Медно-никелевые припои наиболее прочные из рекомендуемых. Прочность паяного шва в соединении с изделиями твердого сплава марки ВК15 на срез достигает 280–350 Н/мм². Недостатком припоя

ПрМНМц 68-4-2 является относительно высокая температура плавления (950°C).

Припой Л63 следует применять для средненагруженных круглых пил форматных станков для обрезки фанеры, стружечных и волокнистых плит, станков для распиловки цельной и клееной сухой древесины.

Серебряные припои (ПСр40) следует применять для пил с большим числом зубьев, малым шагом и тонкими дисками для чистовой обрезки фанерованных и лакированных щитов и выпилки чистовых заготовок без последующей механической обработки. Достоинством этого припоя является низкая температура плавления (600°C), что позволяет получить при пайке малую зону термического влияния, исключая коробление дисков. Отсутствие закалки корпуса зуба при таких температурах пайки существенно повышает ее производительность за счет исключения операции отпуска.

Шероховатость поверхности пластинок оценивается по эталонам.

Форма и размеры пластинок твердого сплава для напайки пильного и другого дереворежущего инструмента зависят от типа инструмента, его толщины.

Допускается:

а) при отсутствии алмазных кругов шлифование опорной поверхности пластинок выполнять кругами из карбида кремния зеленого ПП К39 40×25 МЗ СМ1 К9; режимы – скорость круга 12–15 м/с, скорость продольной подачи 4–6 м/мин, поперечной – 1,0 мм/ход и глубина шлифования – до 0,01 мм;

б) при малых партиях пластинок индивидуальное их шлифование в трехповоротных тисках или специальных оправках; в этом случае могут быть использованы круги чашечной или тарельчатой формы.

Формирование режущих элементов инструмента можно разделить на три этапа:

- первичное получение рабочего клина;
- применение упрочняющих технологий;
- восстановление геометрических параметров лезвия путем заточки и доводки.

Обобщающим показателем эффективности, практической ценности является его стойкость, которая во многом зависит от качества проведения заключительной операции – заточки. Учитывая, что эта операция осуществляется многократно за время эксплуатации инструмента, следует ожидать существенного суммарного эффекта от повышения качества проведения этой операции.

Заточку подразделяют на:

- черновую, которую проводят после формирования зубчатого венца;

- чистовую – для восстановления геометрических параметров зубьев после их затупления (потери режущей способности) в процессе работы.

Заточка по передней поверхности режущего клина обеспечивает минимальный расход инструментального материала, ведет к изменению профиля зуба и малопроизводительна.

Заточка по задней поверхности связана с максимальным объемом удаляемого инструментального материала и шлифовального круга, но более производительна в сравнении с первой схемой.

Заточка по двум поверхностям (передней и задней) более эффективная по расходу материалов и сохранению профиля режущих элементов. В этом случае встает вопрос о величине припуска, снимаемого по передней и задней поверхностям. Для плющенных зубьев рекомендуемое соотношение толщин сошлифовываемых слоев по задней и передней граням принимают равным двум. Для разведенных зубьев такие конкретные рекомендации отсутствуют.

Схема заточки лезвийного инструмента зависит от характера износа: износ по передней поверхности, по задней, износ по обеим поверхностям, для нетеплопроводных материалов характерен износ режущей кромки по радиусу. Если рациональность схемы заточки оценивать по минимизации потерь инструментального материала при ее проведении, встает практический вопрос как ее осуществлять по передней, задней поверхностям или в каком-то соотношении.

Определение оптимальных параметров заточки. Стоимость современных сверхтвердых материалов (СТМ) выше других материалов, поэтому при заточке такого инструмента становится экономически выгодным минимизировать отходы инструментального материала при выполнении этой операции. Схема заточки по передней, задней, и одновременно по двум этим поверхностям выбирается в зависимости от характера износа инструмента. В нашем случае преимущественным является износ с округлением режущей кромки. Такая форма износа характерна для дереворежущего инструмента.

В процессе работы зубья пил тупятся (теряют режущую способность). На затупление зубьев наряду с другими факторами сильно влияет наличие песка на древесине, а также смол в клееных древесных материалах. Затупление происходит в основном по главной режущей кромке. Признаками его являются ухудшение качества обработки и увеличение усилия подачи и мощности резания.

Заточкой называется удаление шлифованием с граней зубьев пил слоя металла, толщина которого достаточна для восстановления их остроты и правильной формы.

Пилы затачивают абразивными кругами на специальных заточных станках. При правильной заточке зубьев пил должны соблюдаться следующие требования:

- все зубья после заточки должны иметь одинаковый шаг, высоту, угловые и другие параметры;
- вершины всех зубьев одноименного назначения должны быть расположены на одной окружности, у рамных пил – на одной прямой;
- дно межзубой впадины должно иметь плавное закругление;
- на зубьях пил не должно быть заворотов, засинения кончиков и блеска на уголках, образованных пересечением кромок (блеск показывает, что при заточке с зуба сошлифован недостаточный слой металла).

Технология заточки зубьев зависит от их профиля и конструкции и от применяемых заточных станков.

Для заточки серийно выпускаемых круглых пил имеются специальные заточные станки ТчПА-3, ТчПК-8 и др.

Заточку зубьев пил для чистового резания целесообразно производить на универсальных заточных станках 3В642 или 3Е642.

Боковые режущие кромки режущих зубьев пил для чистового резания древесины затачивают под углом 20–22°, а скалывающие зубья – под углом 40–45°. Начиная заточку, необходимо отметить первый заточенный зуб.

После заточки пил на режущих кромках зубьев образуются заусенцы, величина которых зависит от толщины снимаемого слоя металла, характеристики круга и материала затачиваемого инструмента. Если заусенцы не удалить, они обламываются при пилении, что снижает остроту зуба. Для полного удаления заусенцев с зубьев пил после заточки их доводят вручную мелкозернистым бруском, смачивая его водой или маслом. Для снятия заусенцев брусок плотно прижимают к шлифуемой грани и перемещают непрерывными круговыми движениями. При подшлифовке одновременно снижается шероховатость поверхностей зубьев, благодаря чему уменьшается трение зуба о древесину при пилении и примерно на 30% увеличивается стойкость пил.

Разводом зубьев пил называется операция по отгибанию кончиков режущих зубьев поочередно в правую и левую стороны. Развод зубьев необходим для того, чтобы исключить трение полотна пилы и боковых поверхностей зубьев при пилении о стенки пропила. При на-

личии трения происходит нагрев пилы и увеличивается мощность, расходуемая на пиление, в результате трения на пиле появляются дефекты (прижоги, засинение зубьев и др.). При этом ухудшается качество обработки и возможен выход пилы из строя. Развод зубьев пилы производят обычно вручную щелевой разводкой.

Перед разводом пилу очищают от смолы, опилок, выправляют искривленные зубья и закрепляют в специальных деревянных тисках или другом приспособлении. Отгибание зуба пилы в сторону производят разводкой с прорезью, ширина которой превышает толщину пилы не более чем на 0,5 мм. Зубья стандартных круглых пил с плоским диском отгибают поочередно в правую и левую сторону на требуемую величину на расстоянии $1/3$ – $1/2$ высоты зуба.

Развод зубьев может производиться как до, так и после их заточки.

Уширение зубчатого венца плющением применяют в рамных пилах и круглых пилах для продольной распиловки с прямой заточкой. При плющении происходит двустороннее уширение кончика зуба, что обеспечивает симметричное действие сил в процессе работы пилы и формирование поверхностей пропила каждым зубом. Благодаря этому достигается более высокое качество пропила и большая устойчивость пилы в пропиле, чем при разведенных зубьях.

Пилы с плющеными зубьями могут иметь на 0,1 мм меньше уширение пропила, чем пилы с разведенными зубьями. Учитывая указанные выше преимущества, целесообразно продольную распиловку древесины производить пилами с плющеными зубьями.

Плющат зубья пил ручными плющилками или на специальных станках, производя предварительно подготовку зубьев.

Перед плющением рекомендуется кончики зубьев смазать смесью автoла и солидола, взятых в равных количествах, чтобы уменьшить вероятность появления на кончике зуба трещин. После плющения производят формование кончиков зубьев, обжимая кончик плющеного зуба плашками, чтобы придать им правильную форму. Перед формованием необходимо напильником или абразивным бруском снять оставшиеся после плющения заусенцы.

Уширение зубьев после плющения (до формования) должно равняться 0,5–0,6 толщины пилы, но не более 1,3 мм на сторону. Расплющенный и отформованный зуб не должен иметь трещин и выкрошин, что определяется при помощи лупы. После формования плющенных зубьев величина поднутрения их в направлении от вершины зуба к впадине и от передней грани к задней должна быть $4 \pm 1^\circ$.

Величину уширения зубчатого венца как разводом, так и плющением рекомендуется проверять перед каждой установкой пилы в станок и сравнивать с нормативной величиной.

Станок ТчПА-3 предназначен для заточки круглых пил продольной и поперечной распиловки диаметром до 1000 мм, рамных и делительных ленточных пил, ТчПА-7 для заточки круглых, ленточных (широких), рамных пил и плоских ножей длиной до 640 мм.

На станке ТчПК16 затачивают круглые пилы для продольной и поперечной распиловки диаметром до 1600 мм, ТчПК22 – пилы для поперечной распиловки диаметром до 2200 мм.

Главная отличительная особенность станков – размер затачиваемых пил. Станок ТчП универсальный (для заточки круглых пил продольной и поперечной распиловки диаметром до 1000 мм, плоских ножей длиной до 650 мм и пил для вертикальных лесопильных рам).

Станок ТчПТ4 предназначен для алмазной заточки круглых пил с пластинками из твердого сплава для продольной и поперечной распиловки.

Полуавтомат ТчПТ6-2 затачивает зубья круглых пил с пластинками из твердого сплава по передним и задним поверхностям алмазными кругами в режиме глубинного шлифования с обильным охлаждением.

Полуавтомат ТчПБ-2 обеспечивает высокоточную заточку боковых граней зубьев, наплавленных стеллитом у рамных, круглых и ленточных пил. Станок имеет жесткую станину, заточную головку с двумя суппортами, на каждом из которых закреплена шлифовальная головка.

Для заточки пил с пластинками из твердого сплава можно применять универсальные заточные станки, выпускаемые Витебским заводом заточных станков: 3Б641 и 3В641 (длина 1530 мм, ширина 1345 мм, высота 1410 мм, масса 700 кг, наибольший диаметр шлифовального круга 150 мм, диаметр затачиваемых пил до 400 мм), 3Б642 (длина 2330 мм, ширина 1660 мм, высота 1550 мм, масса 1280 кг, диаметр абразивного круга 200 мм, диаметр затачиваемых пил 160–600 мм).

Круглые пилы изготавливают из листового проката различных размеров. Листы проката специальными ножницами разрезают на квадраты и пробивают в них центральное отверстие в эксцентриковом прессе. Отверстие – база при выполнении последующих технологических операций.

После этого пыльные диски обрезают на гильотинных ножницах, получая на периферии многоугольник с наибольшим количеством

сторон (обычно не менее 20). Затем заготовку закаливают на кирпичном поду газовых печей при температуре 860–880°C. Заготовки диаметром до 700 мм размещают в печи в два слоя и выдерживают 20–30 мин, а диаметром 800–1000 мм и более – в один слой и выдерживают 15–20 мин. Для равномерности нагрева заготовки больших размеров (более 700–800 мм) переворачивают на 180°. После закалки заготовки охлаждают в масляных ваннах при температуре 60–100°C с выдержкой 10–30 с, затем укладывают стопой и зажимают в прессе для охлаждения в сжатом состоянии. Высота стопы 180–220 мм, выдержка 15–30 мин (в зависимости от размера заготовок). Масло на вынутых из ванны заготовках должно дымиться. Отпуск производят в стопах высотой 180–220 мм в электрических печах в сжатом состоянии. Число пил в стопе зависит от диаметра заготовок: диаметр заготовок варьируется 320–500 мм, число пил в стопе 58–72. При диаметре заготовок 630–1000 мм число пил в стопе 20–44 шт.

Температура отпуска $650 \pm 10^\circ\text{C}$, выдержка 20–30 мин в зависимости от диаметра заготовок. Общее время выдержки 2,5–3 ч. После отпуска пакеты заготовок охлаждают на воздухе в сжатом состоянии не менее 2 ч, а затем проверяют плоскостность с помощью пилоправных линеек, располагая их во взаимно перпендикулярных плоскостях. У всех качественных заготовок определяют твердость. Стальные пилы, изготавливаемые по ГОСТ 980–80, должны иметь твердость по Роквеллу 39–44 единиц HRC.

После отпуска и остывания заготовки, имеющие необходимую плоскостность, поступают на шлифовку, а дефектные подвергаются правке (Н. К. Якунин «Подготовка круглых пил к работе»).

После термической обработки некоторые пилы выходят несколько деформированными (покоробленными), вследствие чего подлежат правке на наковальне плавильным ручником. Правка имеет целью уничтожить выпучины и искривления полотна, привести его в правильное плоскостное состояние, что весьма важно для последующего шлифования пилы.

Следующей операцией по механической обработке заготовки является штампование зубьев, производимое на специальных штамповочных автоматах. Заготовка укрепляется в этих автоматах на шпинделе специальной делительной головки, регулировка которой обеспечивает периодическое перемещение заготовки под опускающийся пуансон, так что после штампования получается соответствующее количество зубьев на пиле. Движение пуансона, имеющего профиль, отвечающий профилю зуба пилы, происходит периодически от кривошип-

ной передачи. Возникает пластическое деформирование металла, а затем его разрушение в зоне действия пуансона. При зазоре между пуансоном и матрицей больше или меньше 0,15 мм насечка зубьев может привести к удлинению зубчатой кромки, вызывающему в ней напряжения сжатия, что ведет к короблению диска пилы.

Шлифование круглых пил производится шлифовальным кругом на специальном станке. Пила на этом станке укрепляется на плоском вращающемся магнитном столе.

Все технологические операции изготовления пил вызывают изменение формы, размеров и физического состояния исходной заготовки. Это создает количественное изменение и перераспределение внутренних напряжений в каждом пильном диске. В результате после шлифования и насечки зубьев все пильные диски имеют разное распределение внутренних напряжений, свои дефекты и особенности – нет двух одинаковых пил. Требуется индивидуальная оценка каждой пилы, индивидуальная правка и проковка, которые являются последними, самыми ответственными операциями в технологическом процессе изготовления круглых пил.

В процессе правки устраняются различные дефекты (выпучины, слабые, тугие места, коробления и др.), а при проковке всей средней зоны пилам придают требуемое натяжение зубчатой кромки.

Разработка методов, обеспечивающих нормальную, устойчивую работу круглых пил и соответствующих технических средств, требует знания специфики явлений, возникающих и происходящих в диске пилы в процессе работы.

Оборудование для насечки зубьев. В процессе эксплуатации пил часто возникает необходимость их ремонта с удалением старых и насечкой новых зубьев.

Станки типов ПШ-3, ПШ-3М, ПШП-2 предназначены для обрезки поломанных старых и насечки новых зубьев на круглых и рамных пилах.

Станок ПШ-3 приводится в действие вручную при помощи рычага. На некоторых предприятиях к нему пристраивают пневмо- или гидропривод. Станки ПШ-3М и ПШП-2 по конструкции одинаковы, отличаются размерами станины, основных узлов, обрабатываемых круглых пил и мощностью привода.

Промышленностью освоены новые станки для насечки зубьев – пилоштамп ПШ-6, позволяющий насекать зубья у пил толщиной 6 мм (производительность 30 зубьев/мин), и полуавтомат ПХФК8-2 для холодного плющения и формования зубьев круглых пил диаметром до 900 мм.

Конструкция и правила эксплуатации заточных и насечных станков описаны в специальной технической литературе, а также в паспортах и руководствах. Станки ТчПК-4, ТчПК-8, ТчПК16-2, ТчПН-6, ТчПТ-4, ТчПТ6-Гл, ПШ-3, ПШ-3М, ПШП-2 выпускаются Кировским станкозаводом Министерства станкостроительной промышленности.

Для обработки поверхностей зубьев пил институт рекомендует установки «Элитрон-12», «Элитрон-22», «Элитрон-52», «Элитрон-345». Электроискровым методом рабочие поверхности зубьев пил покрывают тонким слоем твердого сплава, который крепится в специальном держателе. К обрабатываемому инструменту и держателю подводится электрический ток. На некотором расстоянии от инструмента под действием тока от пластинки твердого сплава отделяется искра, несущая частицы от закрепленного твердого сплава, которые внедряются в обрабатываемую поверхность и упрочняют ее.

А. Г. Барковым (МЛТИ) предложена заточка эрозионно-электрическим методом. В качестве обрабатывающего инструмента используется чугунный диск – катод, затачиваемый инструмент – анод. При черновой заточке производительность в 8–10 раз, а при чистовой доводочной в 2–4 раза выше, чем при заточке алмазным кругом. При черновой заточке окружная скорость электрода-инструмента 16–20 м/с, напряжение холостого хода 16 В, плотность рабочего тока 60–100 А/см². Электролит – водный раствор NaNO₃ (60 г/л) + Na₂CO₃ (60 г/л).

При чистовой заточке и доводочном режиме окружная скорость электрода-инструмента 20 м/с, напряжение холостого хода не более 6 В, плотность тока не более 20 А/см², электролит тот же. Алмазная заточка создает сетку микротрещин на лезвии зуба, чего не дает эрозионно-электролитическая заточка. Испытания твердосплавного инструмента (заточенного алмазными кругами и эрозионно-электролитическим способом), проведенные в сопоставимых условиях, показали, что стойкость его при втором способе заточки в 1,8–2 раза выше, чем при алмазной заточке. Этот способ может найти эффективное применение при разработке нового заточного оборудования и на деревообрабатывающих предприятиях.

В результате появления электродвигателей с шаговым управлением отпала необходимость в установке законов движения заточного круга с помощью кулачковых механизмов, а также подачи инструмента в зону шлифования. Законы перемещения инструмента можно устанавливать теперь при помощи персонального компьютера.

Заточка зубьев этих пил требует высокой точности угловых величин, строгого соблюдения всех параметров режима заточки. Это особенно усложняется при заточке пил с зубьями сложного профиля.

4. ФРЕЗЕРНЫЙ ИНСТРУМЕНТ

4.1. Назначение, конструктивные особенности фрезерного инструмента

Фрезерование – процесс резания вращающимися резцами, в котором траекторией резания является циклоида. Технологической целью фрезерования является преимущественно окончательное формирование поверхностей деталей.

Классификация фрез. Многочисленные конструкции фрезерного инструмента могут быть разбиты на следующие группы и типы:

1) насадные фрезы:

- цельные фрезы;
- составные цельные фрезы;
- фрезы со сменными вставными резцами;

2) концевые фрезы:

- цельные фрезы затылованные;
- цельные фрезы незатылованные.

К первой группе фрез относятся фрезерные инструменты, имеющие отверстие для насадки на шпиндель станка.

Ко второй группе относятся фрезы, оканчивающиеся стержнем, посредством которого они и укрепляются в специальном патроне или гнезде шпинделя станка.

Каждая из указанных групп фрезерных инструментов в свою очередь разделяется на многочисленные типы, виды и разновидности.

Разделение на типы фрез осуществляется по признакам формы зубьев (резцов), главным образом по виду затылочной кривой:

- с кривым затылком;
- с прямым затылком;
- с затылком резца в виде окружности и т. д.

Разделение фрез на виды осуществляется по конструктивным особенностям передней и боковых граней зубьев:

- фрезы с косой заточкой передней грани;
- с боковой обточкой или поднутрением боковых поверхностей и прочие.

Деление фрез на разновидности осуществляется по признакам:

- профиля режущей грани;
- либо числа резцов или форме корпуса фрезы и прочих отличительных особенностей.

В соответствии с приведенными выше признаками классификации фрез, цельные фрезы делятся в основном на две группы:

- фрезы с кривым затылком;
- фрезы с прямым затылком зубьев.

Наиболее сложной конструкцией цельных фрез являются фрезы с кривыми затылками зубьев, применяемые преимущественно для профильного фрезерования.

Ряд зарубежных фирм выпускает для станков с ручной подачей фрезы с ограничителями толщины снимаемой стружки. Особенность этих фрез – наличие ограничителей, расположенных перед зубьями (рис. 4.1).

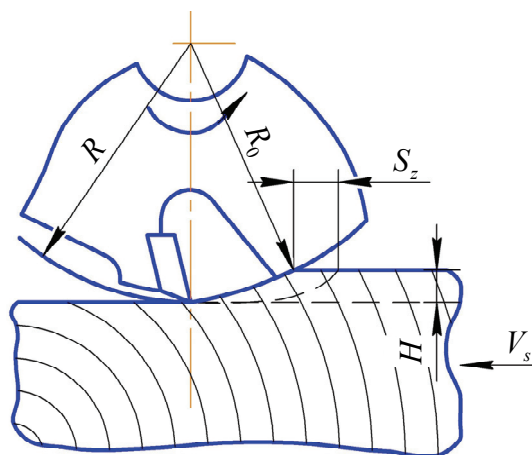


Рис. 4.1. Фреза с ограничителями

При работе на станках с ручной подачей возможен выброс заготовки. Начальная скорость выброса заготовки достигает 14 м/с при работе обычным инструментом, а при работе фрезами с ограничителями не превышает 2 м/с. Это достигается за счет того, что максимальный радиус ограничителей на 0,6–0,8 мм меньше радиуса резания. Тем самым ограничители препятствуют захвату заготовки передней поверхностью зубьев и регламентируют подачу на резец:

$$S_z \leq \frac{R - R_0}{\left(2,82 \cdot \sqrt{\frac{H}{R}} \right)}, \quad (4.1)$$

где R – радиус резания; R_0 – радиус окружности ограничителей; H – глубина фрезерования.

Фрезы с ограничителями имеют меньшее число зубьев и максимальная скорость подачи при работе регламентирована конструктивными особенностями этих фрез.

В зависимости от вида обрабатываемого древесного материала и объемов производства фрезы изготавливают целиком из инструментальных легированных сталей или с напаянными пластинками из стали или твердого сплава.

Проектирование цельных фасонных фрез. Основное свойство правильной конструкции фасонной фрезы – сохранение нормальных углов резания и профиля режущих граней зубьев после соответствующих последовательных заточек, что обеспечивает нормальные условия резания и неизменность профиля получаемого изделия; это достигается правильным конструированием затылка зубьев фрезы (задней фасонной поверхности зубьев).

Для удовлетворения приведенного выше требования необходимо, чтобы затылок зуба фрезы был описан по соответствующей кривой. Касательные к любой ее точке должны составлять с направлением вращения их углы (задние), мало отличающиеся друг от друга в пределах длины кривой затылка зуба.

Основная проблема проектирования фрез – создание затылка зуба, обеспечивающего сохранность профиля обработанной поверхности в результате перезаточек.

Существует несколько способов конструирования затылков зубьев фасонных фрез:

- по логарифмической спирали;
- по спирали Архимеда;
- по дуге окружности, центр которой смещен по отношению к центру фрезы;
- по прямой линии.

Руководствуясь приведенным основным свойством правильной конструкции фасонной фрезы, разберем каждый из указанных способов.

Конструирование затылка зуба по логарифмической спирали. Очертание по логарифмической спирали обеспечивает для внешней кривой затылка зуба наиболее точное удовлетворение требования сохранения постоянного значения заднего угла в любой точке кривой затылка зуба.

Это верно только для фрез нефасонных (для гладкого фрезерования).

В этом случае лишь контурная кривая является точной логарифмической спиралью, остальные кривые затылка лишь параллельны ей и по своим свойствам несколько отличаются от логарифмической спирали. Наряду с этим пригонка контура затылков зубьев по логарифмической спирали в практике встречает большие затруднения, главным образом в результате сложности ее расчета и построения. Поэтому обычно при-

гонку затылков зубьев фрез осуществляют по Архимедовой спирали или другим, более простым по построению кривым, что значительно облегчает работу по разметке фрезы при ручной пригонке или по расчету и изготовлению фрез на токарном затыловочном станке.

Конструирование затылка зуба по Архимедовой спирали. При машинной обработке затылков зубьев фрезы конструирование затылков удобно осуществлять по Архимедовой спирали, удовлетворяющей с достаточной степенью точности (в пределах затылка зуба).

Пусть (рис. 4.2, *a*) затылок зуба фрезы очерчен по Архимедовой спирали ABC . O – центр контура фрезы и спирали; OA – радиус-вектор R ; AK – касательная; Am – перпендикуляр к радиусу-вектору; ψ – угол между касательной и радиусом-вектором; α – угол падения кривой, соответствующий заднему углу затылка зуба.

Уравнение Архимедовой спирали в полярных координатах имеет следующий вид:

$$R = a \cdot \varphi, \quad (4.2)$$

где a – коэффициент пропорциональности; φ – текущий полярный угол.

По данным дифференциального исчисления:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{R}{R'}, \quad (4.3)$$

где R' – первая производная R по φ :

$$R' = \frac{dR}{d\varphi} = \frac{da\varphi}{d\varphi} = a.$$

Так как необходимый для нашего расчета α – задний угол затылка зуба фрезы – служит дополнительным к ψ , то, заменив в предыдущем уравнении один угол другим:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (4.4)$$

получаем:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R'}{R} \quad (4.5)$$

или

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{R'}{R} = \frac{\left(\frac{dR}{d\varphi} \right)}{R} = \frac{a}{a\varphi} = \frac{1}{\varphi}. \quad (4.6)$$

$$\alpha = \arctg \frac{1}{\varphi}. \quad (4.7)$$

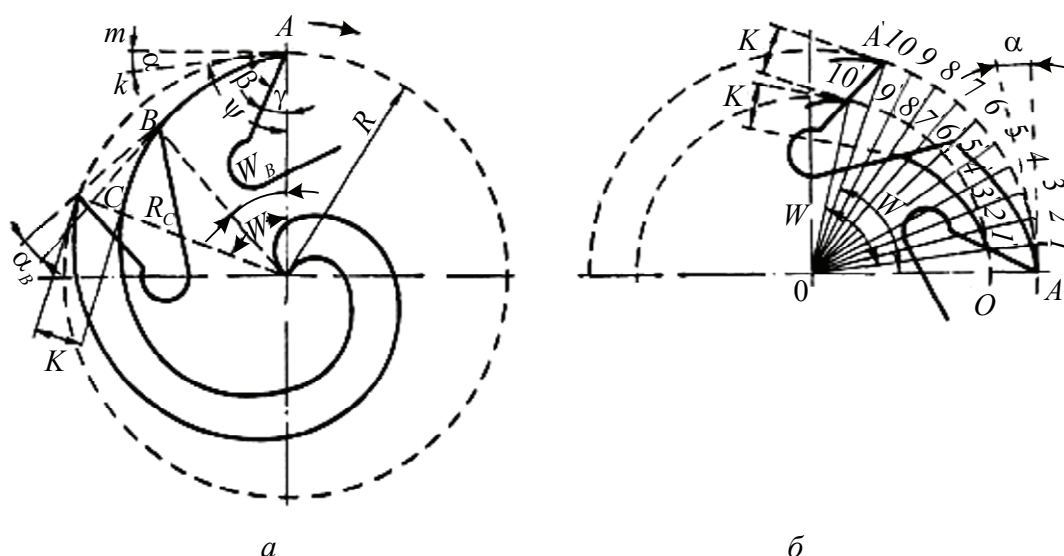


Рис. 4.2. Построение затылка зуба фрезы:
 а – очертание затылка зуба фрезы по Архимедовой спирали;
 б – способ построения затылка фрезы по Архимедовой спирали

Следовательно, угол α у Архимедовой спирали в отдельных ее точках не остается постоянным, а изменяется в соответствии с изменением текущего полярного угла φ радиусов-векторов точек кривой, т. е. задний угол имеет в разных точках спирали различные значения. Однако эти изменения заднего угла в пределах затылка зуба имеют сравнительно незначительные величины.

Практически изменения заднего угла затылка зуба (в пределах стачивания зуба) имеют значения, порядка $1-2^\circ$, в зависимости от величины заднего угла ($\alpha = 10-15^\circ$) и прочих размеров зуба. Эти отклонения значения заднего угла затылка зуба фрезы при его стачивании практически не оказывают заметного влияния на условия резания и искажение профиля получаемого изделия, вследствие чего конструирование затылка зуба по архимедовой спирали широко практикуется при изготовлении фрез на токарных станках с затылочным приспособлением.

Для построения затылка зуба фрезы по Архимедовой спирали необходимо знать величину падения кривой K , представляющую разность радиусов векторов кривой в пределах полного центрального угла зуба W .

Величина падения кривой зависит от заднего угла α и центрального угла W и может быть определена следующим образом.

Из рис. 4.2, б находим для точки A ее радиус-вектор $R = a \cdot \varphi$ и для точки C :

$$R_c = a \cdot (\varphi - W), \quad (4.8)$$

откуда

$$K = R - R_c = a \cdot \varphi - a \cdot (\varphi - W) = a \cdot W. \quad (4.9)$$

$$W = \frac{2 \cdot \pi}{z}; \quad a = \frac{R}{\varphi} \quad \text{— из формулы (4.2) и } \varphi = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad \text{тогда,}$$

подставляя эти значения в выражение (4.9), получим величину падения кривой

$$K = a \cdot W = \frac{2 \cdot \pi \cdot a}{z} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{z \cdot \varphi} = \frac{\pi \cdot D \cdot \operatorname{tg} \alpha}{z}. \quad (4.10)$$

Порядок и способ построения затылка зуба фрезы состоит в следующем:

1. Определяют для данных D , z и α величину падения кривой K по формуле (4.10).

2. Дугу окружности фрезы $A'A$, соответствующую центральному углу W ее зуба, делят на несколько частей n и проводят через каждое деление радиус.

3. Последовательно на каждом из радиусов от окружности к центру откладывают следующие отрезки на радиусе: $01 - 1 \frac{K}{n}$; $02 - 2 \frac{K}{n}$; $03 - 3 \frac{K}{n}$ $0n - n \frac{K}{n}$.

4. Соединив отмеченные точки, получают требуемую кривую — Архимедову спираль.

Конструирование затылка зубьев по дуге окружности, центр которой смещен относительно центра фрезы. Разметка затылков зубьев, часто наблюдающаяся в практике изготовления фасонных фрез на мебельных предприятиях, может быть произведена более простым способом — по дуге окружности, центр которой смещен относительно центра фрезы. На рис. 4.3 показано такое построение затылков зубьев фрезы.

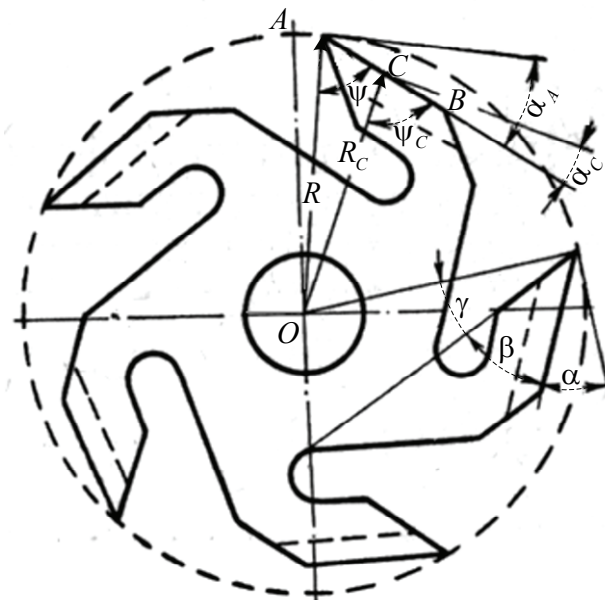
Для сохранения профиля зуба неизменным, образование затылка режущей кромки зуба должно происходить по кривым, про-

Разделив окружность фрезы на необходимое число зубьев, в точке A строят угол, равный заднему контурному углу зуба α , и из центра O проводят окружность, касательную к стороне этого угла ($r = R \cdot \sin \alpha$);

Конструирование затылка зубьев фрезы по прямой линии. При изготовлении фасонных фрез собственными силами деревообрабатывающих предприятий часто применяют способ конструирования затылка зуба фрезы по прямой линии.

59

Такое уменьшение в процессе стачивания зуба в сильной степени отражается на условиях резания, ухудшает качество обработки и вызывает значительное искажение профиля изделия.



Выбор основных параметров затылованных фрез. Основные параметры цельных затылованных фрез – номинальный диаметр фрезы d , диаметр посадочного отверстия d_0 , число зубьев Z , номинальные угловые параметры зубьев α , β , γ . Номинальный диаметр фрезы – важнейший параметр, в значительной мере определяющий ресурс фрезы, допустимое число зубьев, материалоемкость и уравнированность фрезы, условия отвода тепла и др.

Профилирование зуба можно осуществить графическим и аналитическим методами.

Графический метод более нагляден, но точность его невысока. При допуске на размеры профиля, не превышающие 0,3 мм, допустимо только аналитическое профилирование зуба. В обоих методах

координаты точек режущей кромки и задней поверхности находят по координатам характерных точек профиля.

Общий порядок действия при профилировании зубьев состоит:

- в расчете координат характерных точек профиля обрабатываемой детали;
- уточнении номинальных углов и диаметра фрезы;
- расчете параметров задней поверхности зуба;
- определении координат точек режущей кромки в плоскости передней грани зуба;
- определении профиля задней поверхности в радиальном и нормальном сечениях.

Графическое построение профиля режущей грани по профилю обрабатываемой детали. Вследствие вращательного движения фасонной фрезы и расположения передней режущей грани под углом наклона к осевой плоскости фрезы, профиль режущей грани отличается от профиля детали, обрабатываемой данной фрезой.

Геометрическая сущность профилирования режущих кромок вращающихся фасонных фрезерных инструментов (фрез, фасонных ножей и проч.) становится ясной из положений, разработанных доктором Е. А. Лебедевым.

1. Режущие кромки вращающегося фрезерного инструмента описывают поверхность вращения, ось которой совпадает с осью вращения фрезерного инструмента. Каждая точка кромки описывает одну из параллелей указанной поверхности вращения.

2. Осевое (меридиональное) сечение поверхности вращения, описываемой режущей кромкой, совпадает с профилем обрабатываемой детали.

3. Профиль режущей кромки фасонного фрезерного инструмента получается как линия пересечения передней грани зуба фрезерного инструмента с поверхностью вращения, меридиональное сечение которой совпадает с профилем обрабатываемой детали.

Методика построения. При графическом методе построения профиля режущей грани фрезы в левом нижнем углу прочерчивается в масштабе профиль получаемой детали. Масштаб профиля выбирается с учетом габаритов заготовки. На профиле определяют характерные точки. Если поверхности вогнутые, выпуклые или криволинейные, то принимают как можно большее количество точек на них, для прямолинейных участков профиля – только начало и конец. Из полученных точек проводят горизонтальные прямые. Находят центр фрезы радиусом $R_{\text{фрезы}}$. Полученным радиусом проводят окружность и произвольно выбирают вершину зуба, которая располагается выше горизонтальных

линий. Из точки O проводят дуги до пресечения с передней гранью зуба фрезы. Из полученных точек проводят горизонтальные линии до пересечения с вертикалями из точек профиля обрабатываемой детали (рис. 4.5).

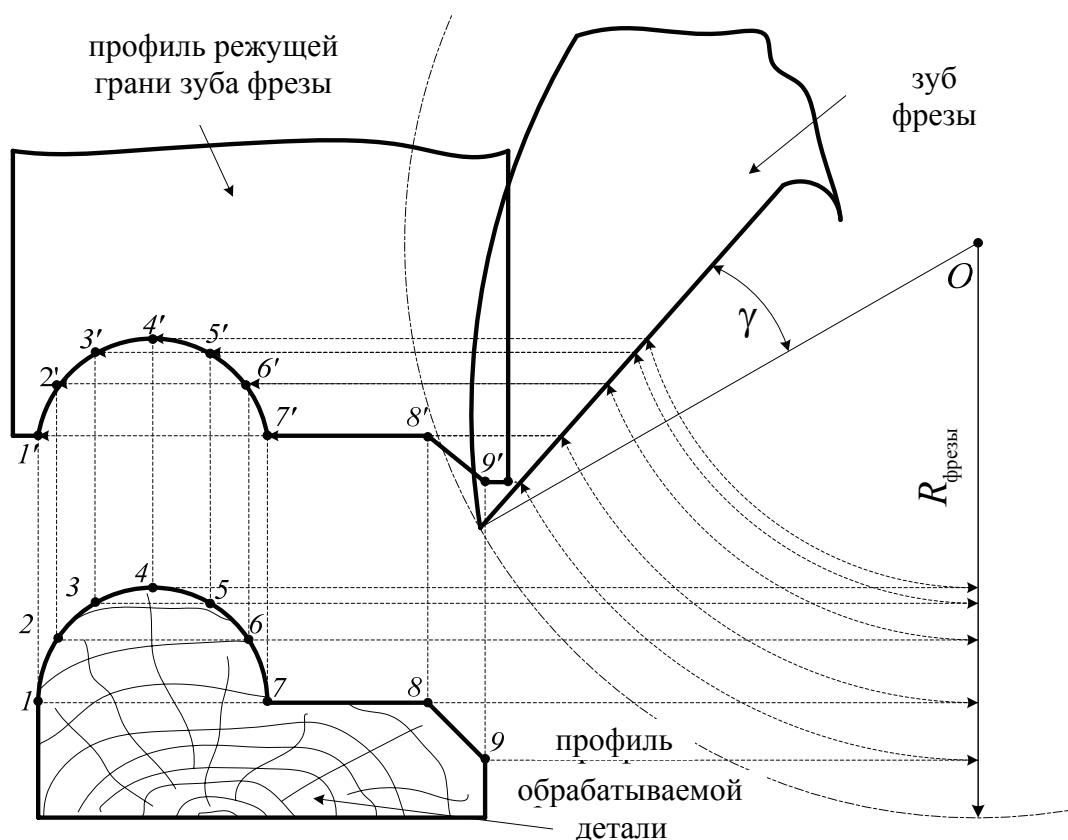


Рис. 4.5. Графическое построение профиля режущей грани фрезы

Руководствуясь положениями основного закона образования профиля режущей грани фрезерного инструмента, легко по профилю режущей кромки фрезы определить профиль детали, получающейся в результате обработки данной фрезой, или решить обратную задачу.

Графическое решение данной задачи осуществляется приемами начертательной геометрии (рис. 4.6). Порядок графического построения профиля обрабатываемой детали по заданному профилю режущей грани состоит в следующем:

1. Вычерчивается в натуральную величину горизонтальная проекция фрезы и вертикальная проекция отдельного ее зуба. Фреза располагается так, чтобы передняя грань зуба была параллельна вертикальной плоскости проекций V .

2. Характерные точки профиля режущей грани ($1-2-3-...-10$) проектируются на горизонтальную плоскость проекций. Проекции этих точек

располагаются на прямой 2-9 (параллельной оси OO'), представляющей собой горизонтальную проекцию режущей грани зуба AB .

Расстояние горизонтальной проекции каждой из отмеченных точек до точки A (9) условимся называть ординатами профиля режущей грани зуба (h_p).

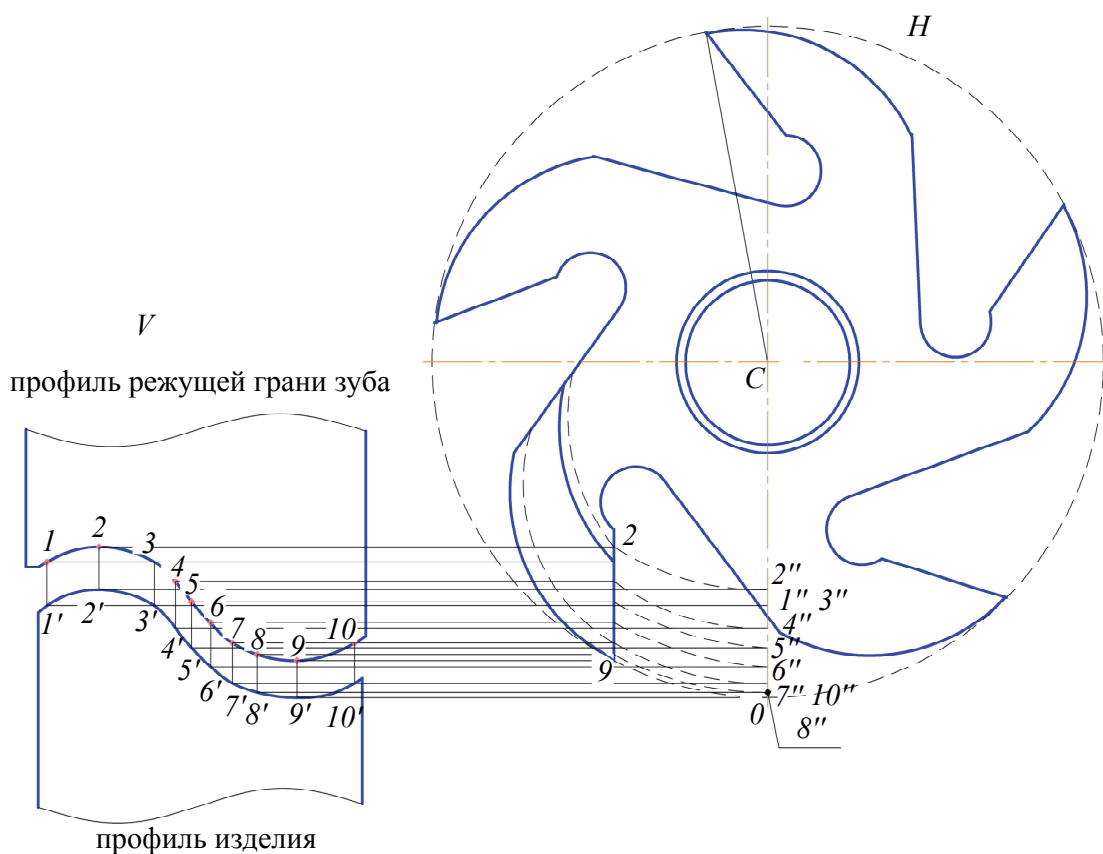


Рис. 4.6. Графическое построение профиля изделия по профилю режущей грани фрезы:

V – вертикальная проекция зуба фрезы; H – горизонтальная проекция фрезы

3. Через горизонтальные проекции отмеченных точек (2, ..., 9) проводим горизонтальные проекции параллелей поверхности вращения, описываемой режущей кромкой зуба, для чего из горизонтальной проекции оси фрезы (C), как из центра, проводим дуги до пересечения с осью OO' радиусами, равными расстоянию от точки C до горизонтальных проекций точек режущей грани (2-2, ..., 9-9').

Полученные на оси OO' точки являются горизонтальными проекциями точек меридионального сечения поверхности вращения, описываемой режущей кромкой зуба фрезы. Так как меридиональ-

ное сечение совпадает с профилем обрабатываемой детали, то расстояние горизонтальной проекции каждой из точек меридионального сечения до точки $9'$ будет соответствовать ординатам точек профиля детали h .

4. Для построения профиля обрабатываемой детали из горизонтальных проекций точек меридионального сечения проводим проектирующие прямые до встречи с вертикальными проекциями параллелей соответствующих точек режущей кромки зуба.

Соединив найденные точки в надлежащей последовательности, получаем искомый профиль обрабатываемой детали ($1'-2'-3'-\dots-10'$).

4.2. Методика расчета крепления фрез и их режущих элементов

В деревообрабатывающей промышленности широко применяется обработка древесины и древесных материалов концевым фрезерным инструментом. Этот тип дереворежущего инструмента широко используется для выборки прямоугольных и фасонных пазов, профильной обработки кромок и других видов работ. Основным отличием концевых фрез от насадных является наличие хвостовика, которым фреза крепится в шпинделе станка.

Несмотря на постоянное совершенствование конструкций, концевые фрезы не всегда обладают желаемо длительным сроком эксплуатации, о чем свидетельствует производственный опыт (по данным ЗАО ХК «Пинскдрев», ОАО «Минскпроектмебель»).

На деревообрабатывающих предприятиях процент поломок концевых фрез может достигать до 20%. В качестве основной причины подобных аварий выделяют неправильное назначение режимов эксплуатации концевых фрез, например, «форсированная подача на зуб инструмента при значительной глубине резания». При этом излом тела концевой фрезы носит явно выраженный усталостный характер.

В процессе работы концевой фрезерный инструмент испытывает многократное нагружение. Цикл нагружения является пульсирующим, т. е. нагрузка периодически изменяется от нуля до максимума. При этом инструмент испытывает сложное напряженное состояние, которое характеризуется совместным действием изгиба и кручения. Наибольшее значение нагрузки будет в месте крепления хвостовика (рис. 4.7).

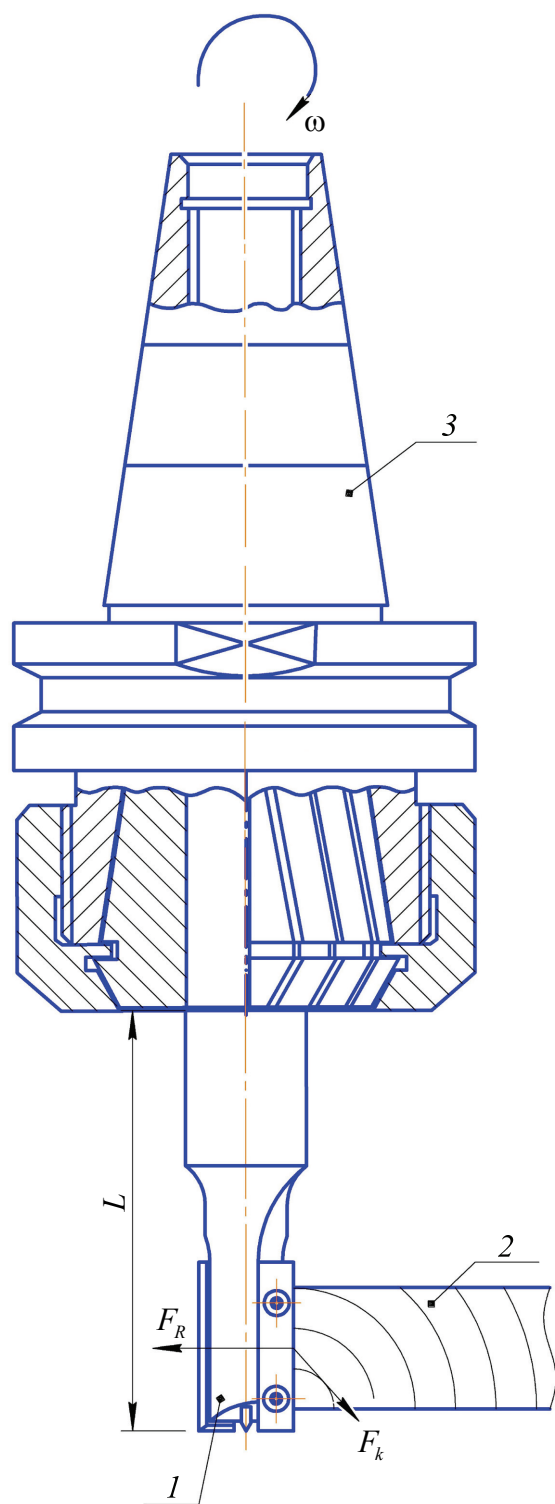


Рис. 4.7. Схема крепления концевой фрезы в патроне:
 1 – режущий элемент концевой фрезы;
 2 – обрабатываемый материал;
 3 – патрон

Здесь максимальная величина изгибающего момента может быть найдена как

$$M_{\max} = L \cdot \sqrt{F_{k \max}^2 + F_{R \max}^2}, \quad (4.11)$$

где L – расстояние от равнодействующей сил резания до плоскости крепления концевой фрезы, мм; $F_{k \max}$ – максимальное значение касательной составляющей силы резания, Н; $F_{R \max}$ – максимальное значение радиальной составляющей силы резания, Н.

Величина радиальной составляющей может быть определена как

$$F_{R \max} = m \cdot F_{k \max}, \quad (4.12)$$

где m – переходной множитель, значение которого зависит от величины средней толщины стружки, степени остроты инструмента и угла резания. На рис. 4.8 приведены графики зависимостей переходного множителя m от значений средней толщины срезаемого слоя $a_{\text{ср}}$ для различных радиусов закругления резца при угле резания $\delta = 60^\circ$.

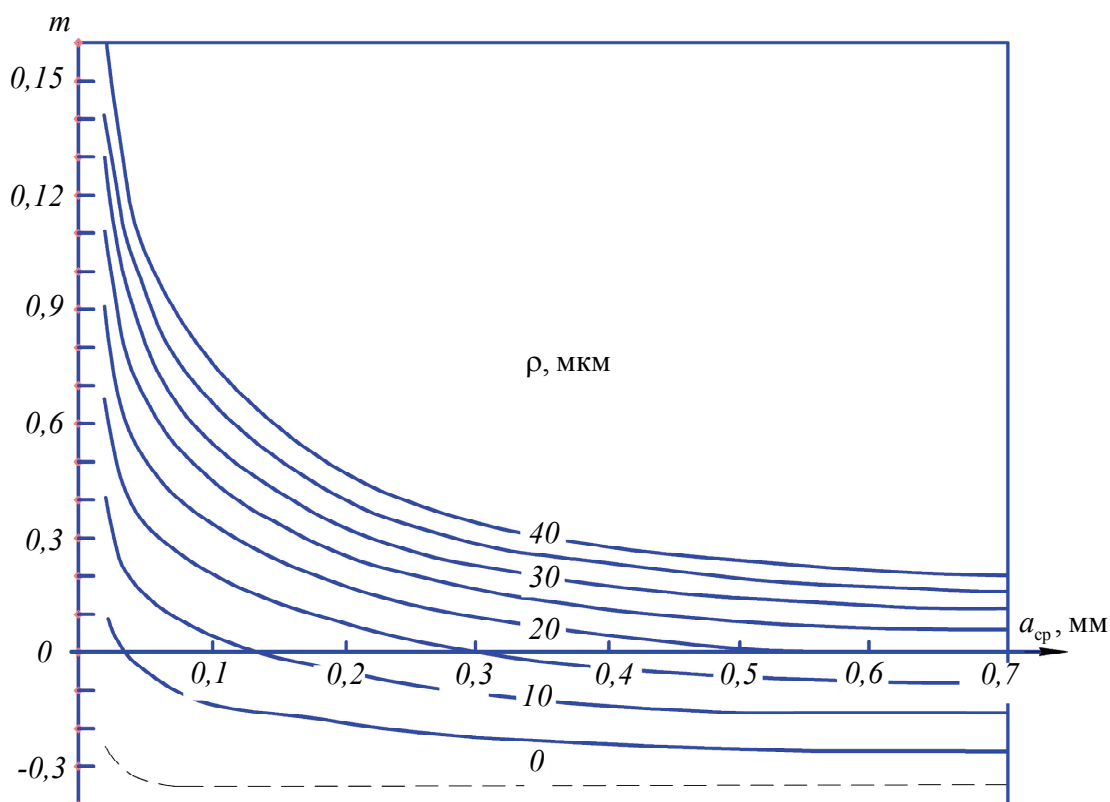


Рис. 4.8. Графики для определения переходного множителя m при угле резания $\delta = 60^\circ$

Для углов резания δ , отличных от 60° , учитываются поправки к значениям m , найденным по графикам рис. 4.8. Значения поправок к m для различных углов резания приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Значения поправок к m для некоторых углов резания δ

Угол δ , град	0	5	5	0
Поправка к m	0,16	0,08	0,08	0,16

Таким образом, максимальный изгибающий момент может быть записан с учетом (4.12), как

$$M_{\max} = L \cdot F_{k \max} \cdot \sqrt{1 + m^2}. \quad (4.13)$$

Максимальный крутящий момент:

$$T_{\max} = R \cdot F_{k \max}, \quad (4.14)$$

где R – радиус резания, мм.

Запишем напряжение в рассматриваемом сечении от изгиба и кручения.

Максимальное значение напряжения изгиба:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W}, \quad (4.15)$$

где W – момент сопротивления сечения, мм^3 .

Среднее значение напряжения изгиба при пульсирующем цикле будет равно значению амплитудного напряжения:

$$\sigma_{\text{cp}} = \sigma_a = \frac{\sigma_{\max}}{2}. \quad (4.16)$$

С учетом уравнения (4.14), можем представить уравнение (4.16) в виде

$$\sigma_{\text{cp}} = \sigma_a = \frac{M_{\max}}{2 \cdot W}. \quad (4.17)$$

Максимальное значение напряжения кручения:

$$\tau_{\max} = \frac{T_{\max}}{W_p}, \quad (4.18)$$

где W_p – полярный момент сопротивления, мм^3 .

Аналогично с изгибом среднее значение напряжения кручения будет равно значению амплитудного напряжения:

$$\tau_{cp} = \tau_a = \frac{\tau_{max}}{2}. \quad (4.19)$$

Или, с учетом (4.18), можем записать:

$$\tau_{cp} = \tau_a = \frac{T_{max}}{2 \cdot W_p}. \quad (4.20)$$

Для учета двухосного напряженного состояния воспользуемся формулой Гафа – Полларда:

$$\frac{1}{n^2} = \frac{1}{n_\sigma^2} + \frac{1}{n_\tau^2}, \quad (4.21)$$

где n – запас усталостной прочности; n_σ – запас усталостной прочности при чистом изгибе; n_τ – запас усталостной прочности при чистом кручении.

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\varepsilon \cdot \beta} \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_{cp}}, \quad (4.22)$$

где σ_{-1} – предел выносливости при изгибе для симметричного цикла; k_σ – эффективный коэффициент концентрации напряжений при изгибе; ε – масштабный фактор; β – коэффициент влияния состояния поверхности; ψ_σ – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла для изгиба.

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon \cdot \beta} \cdot \tau_a + \psi_\tau \cdot \tau_{cp}}, \quad (4.23)$$

где τ_{-1} – предел выносливости при кручении для симметричного цикла; k_τ – эффективный коэффициент концентрации напряжений при кручении; ψ_τ – коэффициент чувствительности материала к асимметрии цикла для кручения.

Формула (4.21) с учетом (4.17), (4.20), (4.22), (4.23) может быть записана в виде

$$n = \frac{\sigma_{-1} \cdot \tau_{-1}}{\sqrt{k_{\sigma d}^2 \cdot \sigma_a^2 \cdot \tau_{-1}^2 + k_{\tau d}^2 \cdot \tau_a^2 \cdot \sigma_{-1}^2}}, \quad (4.24)$$

где

$$\begin{aligned} k_{\sigma\text{Д}} &= \frac{k_{\sigma}}{\varepsilon \cdot \beta} + \psi_{\sigma}, \\ k_{\tau\text{Д}} &= \frac{k_{\tau}}{\varepsilon \cdot \beta} + \psi_{\tau}. \end{aligned} \quad (4.25)$$

Поскольку поперечное сечение хвостовиков концевых фрез – окружность, то можно записать:

$$W \approx 0,1 \cdot d^3; W_p \approx 0,2 \cdot d^3. \quad (4.26)$$

Введем обозначение:

$$\begin{aligned} A &= 25 \cdot k_{\sigma\text{Д}}^2 \cdot \tau_{-1}^2, \\ B &= 6,25 \cdot k_{\tau\text{Д}}^2 \cdot \sigma_{-1}^2. \end{aligned} \quad (4.27)$$

Тогда уравнение (4.23) примет вид

$$n = \frac{\sigma_{-1} \cdot \tau_{-1} \cdot d^3}{\sqrt{A \cdot M_{\text{max}}^2 + B \cdot T_{\text{max}}^2}}. \quad (4.28)$$

С учетом полученных соотношений (4.13) и (4.14), из (4.28) выразим максимальную касательную силу резания:

$$F_{k \text{ max}} = \frac{\sigma_{-1} \cdot \tau_{-1} \cdot d^3}{n \cdot \sqrt{A \cdot L^2 \cdot (1 + m^2) + B \cdot R^2}}. \quad (4.29)$$

Причем следует отметить, что древесина и древесные материалы обычно характеризуются анизотропией свойств, а затрачиваемая мощность на резание может колебаться для натуральной древесины в пределах $\pm 25\text{--}30\%$ для одинаковых условий обработки.

Поэтому коэффициент запаса, согласно практическим рекомендациям, следует принимать равным $n = 1,7\text{--}3$.

4.3. Пример расчета крепления фрез

В качестве примера определим максимальную касательную силу резания при обработке сборной концевой фрезой для следующих условий.

Дано. Материал тела фрезы – сталь 40Х [1]; переходной множитель $m = 1$; расстояние от точки приложения равнодействующей сил резания до плоскости крепления хвостовика концевой фрезы $L = 100$ мм; радиус резания $R = 10$ мм; коэффициент запаса $n = 2$.

Для стали 40Х: $\sigma_{-1} = 320\text{--}480$ МПа, в расчетах примем $\sigma_{-1} = 400$ МПа; $\tau_{-1} = 240$ МПа; $\psi_\sigma = 0,1$; $\psi_\tau = 0,05$.

Масштабный фактор $\varepsilon = 0,9$ для диаметра хвостовика $d = 20$ мм. Для шлифованной поверхности хвостовика коэффициент влияния состояния поверхности $\beta = 0,9$ [3].

При отсутствии концентраторов напряжений примем $k_\sigma = k_\tau = 1$.

Найти максимальную касательную силу резания $F_{k\max}$.

Решение

По формулам (4.25) имеем:

$$k_{\sigma d} = \frac{1}{0,9 \cdot 0,9} + 0,1 = 1,33;$$

$$k_{\tau d} = \frac{1}{0,9 \cdot 0,9} + 0,05 = 1,28.$$

Подставим соответствующие значения в выражения (4.27):

$$A = 25 \cdot 1,33^2 \cdot 240^2 = 2\,547\,216,$$

$$B = 6,25 \cdot 1,28^2 \cdot 400^2 = 1\,638\,400.$$

Из уравнения (4.29) получим величину максимальной допустимой касательной силы резания при коэффициенте запаса $n = 2$:

$$F_{k\max} = \frac{400 \cdot 240 \cdot 20^3}{2 \cdot \sqrt{2\,547\,216 \cdot 100^2 \cdot (1+1^2) + 1\,638\,400 \cdot 10^2}} \approx 1700 \text{ Н}.$$

Значение $F_{k\max}$ должно учитываться как ограничивающий фактор при назначении режимов резания и проектировании концевой фрезерного инструмента.

Ответ. Максимальная касательная сила резания составит $F_{k\max} = 1700$ Н.

4.4. Технология изготовления, подготовка фрез к работе

Содержание и порядок операций по изготовлению фасонных фрез находятся в тесной зависимости от конструкции и размеров фрезы, материала для заготовки, оборудования механического цеха, числа изготавливаемых фрез и прочих условий.

В общем для изготовления фасонных фрез нормального типа можно установить следующие основные производственные операции, объединенные нами в отдельные фазы.

I. Подготовка заготовки фрезы:

- заготовка материала для фрезы;
- термическая обработка заготовки;
- обработка внутреннего отверстия;
- обточка боковых поверхностей.

II. Фасонная обточка заготовки.

- фасонная обточка поверхности вращения.

III. Фрезерование зубьев:

- разметка зубьев;
- сверление отверстия впадин;
- фрезерование зубьев.

IV. Фасонная обработка зубьев фрезы:

- формирование затылков зубьев.

V. Термическая обработка фрезы:

- закалка;
- отпуск.

VI. Отделка фрезы:

- чистовое шлифование внутреннего отверстия;
- чистовое шлифование боковых опорных плоскостей;
- клеймение, нанесение штампа изготовителя.

VII. Заточка:

- заточка зубьев;
- балансировка.

Порядок проектирования цельных фрез. Проектирование цельных фрез имеет такую последовательность:

- анализ профиля и уточнение конструктивной схемы фрезы;
- выбор материала режущей части;
- выбор основных параметров фрезы;
- профилирование зубьев фрезы, расчет конструктивных параметров;
- вычерчивание фрезы и назначение технических требований.

Материалы для изготовления дереворежущих фрез. В настоящее время отсутствует методика прогнозирования стойкости инструмента, изготовленного из той или иной марки инструментального материала, при известных условиях его эксплуатации.

На основании имеющегося производственного опыта для изготовления дереворежущих фрез можно рекомендовать хромистые

полутеплостойкие стали марок Х6ВФ и 8Х6ВМФ. При отсутствии этих сталей допустимо изготавливать фрезы из сталей марок ХВГ, 9ХС. Стойкость инструмента из этих сталей в 1,5–2,5 раза уступает стойкости полутеплостойких сталей. Для обработки древесных материалов, а в крупносерийном производстве и для обработки цельной древесины зубья фрез следует оснащать пластинками твердого сплава или быстрорежущей стали. В деревообработке применяют главным образом быстрорежущую сталь Р6М5, позволяющую в 1,5–2 раза повысить стойкость инструмента по сравнению с легированными сталями.

Из большого количества марок твердого сплава в деревообработке наиболее распространена марка ВК15. Для обработки древесины твердых пород и ДСтП применяют сплавы ВК6М и ВК8, слоистых древесных пластиков и ДВП – сплавы ВК10, ВК10С.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Пилы для вертикальных лесопильных рам. Технические условия: ГОСТ 5524-75. – Введ. 01.07.1976. – Минск.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 11 с.
2. Грубе, А. Э. Дереворежущие инструменты / А. Э. Грубе, В. И. Санев. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 344 с.
3. Горохов, В. А. Проектирование и расчет приспособлений / В. А. Горохов. – Минск: Вышэйшая школа, 1986. – 238 с.
4. Грубе, А. Э. Основы теории и расчета деревообрабатывающих станков, машин и автоматических линий / А. Э. Грубе, В. И. Санев. – М.: Лесная промышленность, 1973. – 289 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. РАМНЫЕ ПИЛЫ.....	4
1.1. Назначение, конструктивные особенности рамных пил.....	4
1.2. Методика расчета крепления рамных пил.....	7
1.3. Примеры расчета крепления рамных пил.....	16
1.4. Технология изготовления, подготовка рамных пил к работе.....	19
2. ЛЕНТОЧНЫЕ ПИЛЫ	22
2.1. Назначение, конструктивные особенности ленточных пил	22
2.2. Методика расчета напряжений изгиба в ленточных пилах	26
2.3. Пример расчета напряжения изгиба в ленточных пилах	27
2.4. Требования к подготовке ленточных пил к работе	28
3. КРУГЛЫЕ ПИЛЫ	30
3.1. Назначение, конструктивные особенности круглых пил	30
3.2. Методика расчета крепления круглых пил	40
3.3. Технология изготовления, подготовка круглых пил к работе.....	42
4. ФРЕЗЕРНЫЙ ИНСТРУМЕНТ	53
4.1. Назначение, конструктивные особенности фрезерного инструмента	53
4.2. Методика расчета крепления фрез и их режущих элементов	64
4.3. Пример расчета крепления фрез	69
4.4. Технология изготовления, подготовка фрез к работе	70
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	73

Учебное издание

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОИЗВОДСТВО ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Учебно-методическое пособие

Составитель

Раповец Вячеслав Валерьевич

Редактор *Ю. Д. Нежикова*

Компьютерная верстка *Ю. Д. Нежикова*

Корректор *Ю. Д. Нежикова*

Издатель:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014.

Ул. Свердлова, 13а, 220006. г. Минск.